

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Implementação de Sistemas de Eficiência Energética nos Tratamentos Térmicos

Luísa Maria Videira Morais

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador Prof. Doutor José Eduardo Neves dos Santos
Co-orientador: Fernando Santos (Controlador Financeiro da TRATERME)
Eng. Alexandre Silva (TRATERME)

Junho 25, 2017

Resumo

Este projeto enquadra-se no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Tem como principal objetivo identificar metodologias que contribuam para a melhoria da eficiência energética, com aplicação na empresa TRATERME.

A preocupação com a melhoria da eficiência energética na empresa está associada à redução do consumo de energia elétrica, refletido na fatura energética. Essa redução poderá ser obtida por melhoria da gestão dos tratamentos ou por alterações contratuais. Para tal foram analisadas relações entre as variáveis que influenciam o consumo energético, a faturação e diagrama de cargas da empresa.

No tratamento dos dados evidenciam-se procedimentos estatísticos, com recurso aos programas informáticos SPSS e Excel, para relacionar as variáveis em termos comparações entre médias e de correlação entre as variáveis quantitativas envolvidas. As variáveis envolvidas em parte do estudo foram: consumo energético (em kWh), carga (em kg), duração (em h), temperatura máxima (em °C), tipo de tratamento e fornos. Dos resultados obtidos destaca-se que o consumo energético aumenta no mesmo sentido da carga e da duração e que a média de consumos por hora diminui com o aumento da carga.

Relativamente às condições contratuais, salienta-se que para o atual modo de funcionamento da TRATERME a opção tarifária mais adequada, da GALP Energia, é o “Tarifário Normal” (em comparação com o “Tarifário Opcional”).

Foi desenvolvida uma aplicação computacional para registo dos tratamentos realizados na empresa, recorrendo ao VBA para Excel.

Abstract

This project was developed regarding a Master's Thesis of the Integrated Master in Electrical and Computer Engineering at the Faculty of Engineering of the University of Porto. The main objective is to identify methodologies that contribute to the improvement of energy efficiency, which can later be implemented in the company TRATERME.

The concern with the improvement of the energy efficiency in the company is associated to the reduction of the consumption of electric energy, reflected in the energetic invoice. This reduction can be obtained by improving the management of treatments or by contractual changes. In order to do so, we analyzed the relationships between the variables that influence the energy consumption, billing and load diagram of the company.

In the treatment of the data, statistical procedures were demonstrated, using software SPSS and Excel, to relate the variables in terms of comparisons between averages and correlation between the quantitative variables involved. The variables involved in the study were: consumption (kWh), load (kg), duration (h), maximum temperature (°C), type of treatment and furnaces.

From the results obtained in the study of heat treatments, it is evident that the energy consumption increases in the same direction of the load and the duration and that the average of hourly consumption decreases with the increase of the load. It should also be noted that, regarding the current mode of operation of TRATERME, the weekly “Normal Tariff” option, of GALP Energia, is the most appropriate solution (as opposed to the weekly “Optional Tariff” option).

A computer application was developed to record the treatments performed in the company, using VBA for Excel.

Agradecimentos

Na reta final da realização deste trabalho, não posso deixar de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que tal fosse possível:

Ao meu orientador, Prof. J. E. Neves dos Santos, pela disponibilidade, prontidão e acompanhamento ao longo de todo o projeto e presença na etapa final do meu curso;

A todos os membros da empresa TRATERME, que me acolheram com agrado e sempre se mostraram disponíveis para colaborar no meu projeto; em especial ao Fernando Santos que me acompanhou ao longo de todo o estudo desenvolvido, obrigada pelas horas de trabalho, a paciência e a disponibilidade para ajudar.

À minha Irmã, por estar sempre lá para me ouvir, a qualquer hora do dia ou da noite, pelo suporte, pelas brincadeiras, por me compreender e apoiar.

Aos meus Pais, pela dedicação, pelo carinho e apoio incondicional: ao meu Pai pela ajuda, os conselhos e trocas de ideias mais acesas, que me fazem melhorar a cada dia e tornar-me parte da pessoa que sou hoje; à minha Mãe pela paciência, mimos e cuidados que tem com todos nós, por nos fazer lembrar todos os dias do valor de uma família.

À minha Madrinha e à Alice, pela ajuda, as palavras de força e por sempre acreditarem em nós.

Um especial obrigada àqueles que mais horas passaram comigo nos últimos cinco anos, a quem “gabo a paciência” e admiro por continuarem a aturar-me. Pelo carinho de todos vocês, pelas brincadeiras, pelas conversas e discussões. Foram vocês, e cada um em especial, que por serem o que são, me fizeram ver que o que realmente importa na vida são as pessoas e os amigos que temos ao nosso lado. A todos um enorme obrigada.

Luísa Morais

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Problema e enquadramento do estudo	1
1.2	Objetivos Principais.....	2
1.3	Importância e limitações do estudo	3
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	Eficiência Energética na Indústria	7
2.1	Políticas de Eficiência Energética na Indústria	9
2.2	Medidas de Eficiência Energética em Industrias de Tratamentos Térmicos	10
2.3	Contratos Energéticos e Faturação	12
3	Apresentação da Empresa TRATERME	15
3.1	Instalação elétrica da TRATERME.....	16
3.2	Tratamentos térmicos da TRATERME	16
3.3	Caracterização dos fornos da TRATERME.....	17
3.4	Funcionamento da TRATERME.....	17
4	Metodologias Desenvolvidas	19
4.1	Gestão dos Tratamentos na TRATERME	20
4.1.1	Caracterização das variáveis	20
4.1.2	Procedimento realizado	22
4.2	Faturação de Eletricidade e Diagrama de Cargas da TRATERME	23
4.3	Aplicação Computacional para Registo de Tratamentos.....	23
5	Análise e Caracterização do Consumo Energético.....	25
5.1	Gestão dos Tratamentos na TRATERME	25
5.1.1	Variáveis que influenciam o consumo energético	26
5.1.2	Análise de casos particulares	50
5.1.3	Conclusões.....	52
5.2	Faturação de Eletricidade e Diagrama de Cargas da TRATERME	54
5.2.1	Avaliação do contrato de fornecimento de energia.....	55
5.2.2	Análise do diagrama de cargas	57
5.3	Aplicação Computacional para Registo de Tratamentos.....	59
6	Conclusões e Trabalho Futuro.....	61

Anexo A	63
Anexo B	64
Anexo C	65
Anexo D	66
Anexo E	67
Referências	73

Lista de Figuras

Figura 4.1: Frequência de tratamentos por intervalos de TMax.....	21
Figura 4.2: Fluxograma da Metodologia Desenvolvida.....	24
Figura 5.1: Consumo médio por forno.....	27
Figura 5.2: Média de consumo/uCarga por forno.....	28
Figura 5.3: Média de consumo por tipo de tratamento.	30
Figura 5.4: Consumo médio por unidade de carga em cada tipo de tratamento.	30
Figura 5.5: Média de consumo por kg por forno para cada tipo de tratamento.	32
Figura 5.6: Média de consumo por intervalo de carga.....	35
Figura 5.7: Médias de consumos por intervalos de carga para cada tipo de tratamento.	38
Figura 5.8: Consumo médio por forno por intervalo de carga.	39
Figura 5.9: Distribuição das médias de consumo pelos intervalos de duração dos tratamentos.....	41
Figura 5.10: Média de consumos por forno em cada intervalo de temperatura máxima.	43
Figura 5.11: Consumo médio por carga e duração.	44
Figura 5.12: Média de consumo por temperatura máxima e forno.....	47
Figura 5.13: Médias de consumo por intervalos de carga para TMax igual ou superior a 500°C.	48
Figura 5.14: Médias de consumo por intervalos de carga para TMax inferior a 500°C.	49
Figura 5.15: Carga e MC/uCarga dos tratamentos selecionados.....	51
Figura 5.16: Distribuição do consumo pelo período horário do Tarifário Opcional e Normal.....	56
Figura 5.17: Diagrama de cargas da TRATERME dos dias 1 a 7 de fevereiro de 2017.....	57

Figura 5.18: Diagrama de Cargas Diário de 1 a 7 de fevereiro de 2017	58
Figura 5.19: Formulário de Registo de Tratamentos	60

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Características dos fornos da TRATERME.	17
Tabela 5.1: Distribuição dos tratamentos por tipo e por forno.	26
Tabela 5.2: Consumo médio por forno.	27
Tabela 5.3: Médias de consumo/kg em cada forno.	28
Tabela 5.4: Consumo médio por tipo de tratamento.	29
Tabela 5.5: Média de consumos por kg em cada tipo de tratamento.	30
Tabela 5.6: Médias de consumo por kg por tipo de tratamento em cada forno	31
Tabela 5.7: Medidas de associação entre as variáveis (correlação de Spearman)	33
Tabela 5.8: Consumos médio por intervalos de carga.	34
Tabela 5.9: Comparações múltiplas, entre as médias de consumo por intervalo de carga, utilizando o teste Tukey HSD	36
Tabela 5.10: Médias de consumos por intervalos de carga e tipo de tratamentos.	37
Tabela 5.11: Média de consumos por forno e por intervalo de carga.	38
Tabela 5.12: Distribuição dos tratamentos pelos intervalos de duração	41
Tabela 5.13: Consumo médio por duração e forno.	42
Tabela 5.14: Média de consumo por intervalos de duração e carga.	44
Tabela 5.15: Registo da significância das comparações múltiplas entre as médias de consumo por duração dos tratamentos utilizando o teste Tukey HSD.	45
Tabela 5.16: Distribuição das médias de consumo por intervalo de temperatura máxima e tratamento.	46
Tabela 5.17: Médias de consumo por intervalo de temperatura máxima e forno.	47
Tabela 5.18: Médias de consumo por intervalos de temperatura e intervalos de carga.	48

Tabela 5.19: Comparações múltiplas entre as médias de consumo por intervalo de temperatura máxima, utilizando o teste Tukey HSD.	49
Tabela 5.20: Registo dos tratamentos selecionados.....	51
Tabela 5.21: Média de consumo por uCarga dos tratamentos selecionados.	52
Tabela 5.22: Consumo energético dos fornos no ano 2016.	54
Tabela 5.23: Consumo de energia ativa por períodos horários nos tarifários Normal e Opcional.....	55
Tabela 5.24: Preço da energia ativa e das tarifas de acesso à rede e respetivos custo em cada tarifário.	56

Abreviaturas e Símbolos

<i>MT</i>	<i>Média Tensão</i>
<i>kWh</i>	<i>Unidade do Consumo Energético (quilo-Watt-hora)</i>
<i>kg</i>	<i>Unidade da Carga dos Tratamentos (quilograma)</i>
<i>h</i>	<i>Unidade da Duração dos Tratamentos (horas)</i>
<i>°C</i>	<i>Unidade da Temperatura dos Tratamentos (graus Celsius)</i>
<i>MCT</i>	Média de Consumo dos Tratamentos (kWh)
MC/uCarga	Média de Consumo dos Tratamentos por unid. de carga (kWh/kg)
iCarga	Intervalos de Carga
TMax	Temperatura Máxima
iTMax	Intervalos de Temperatura Máxima
TN	Tarifário Normal da GALP Energia
TO	Tarifário Opcional da GALP Energia

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo inicial apresenta-se a contextualização do projeto que permitiu a realização desta dissertação, a partir do desenvolvimento dos seguintes tópicos principais: Problema e enquadramento do projeto, Objetivos Principais, Importância do estudo, e Estrutura da dissertação. Segue-se o desenvolvimento de cada tópico.

1.1 Problema e enquadramento do estudo

Este projeto enquadra-se no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O estudo tem como finalidade a melhoria da eficiência energética da empresa TRATERME. Neste sentido, pretende-se definir metodologias que permitam otimizar o processo produtivo relativo ao consumo de energia. Para tal foram analisadas relações entre as variáveis que influenciam o consumo energético, recorrendo aos registos dos tratamentos realizados na empresa, com a finalidade de obter indicadores que contribuam para a redução do consumo energético.

Associada à preocupação da redução do consumo de energia elétrica, encontra-se o interesse económico da empresa na redução dos custos refletidos na fatura energética, a qual poderá ser obtida por melhoria da gestão dos tratamentos ou por alterações contratuais.

Atendendo às preocupações da empresa, aos objetivos do mestrado e aos dados que foi possível obter para este estudo, foram definidos um conjunto de tópicos a serem alvos de estudo na presente dissertação.

1.2 Objetivos Principais

No âmbito deste projeto, e no sentido de contribuir para satisfazer as necessidades da empresa, este estudo foi orientado por forma a dar resposta às seguintes questões:

- Qual a estratégia mais adequada na gestão dos tratamentos que minimiza o consumo energético?
- Qual a variável que maior influência tem no consumo energético dos tratamentos térmicos?
- Qual a carga aconselhável para cada tratamento de forma a minimizar o consumo energético?
- Qual o forno que deve ser escolhido para a realização de cada tipo de tratamento, atendendo às características de duração, temperatura e carga?
- Qual a opção tarifária da GALP Energia mais adequada para a TRATERME: semanal normal ou semanal opcional?

Para dar resposta às questões apresentadas foram definidos os seguintes objetivos:

Objetivo Geral: melhorar a eficiência energética da empresa TRATERME, reduzindo o consumo energético.

Relativamente à Gestão de Tratamentos:

- Avaliar a relação das variáveis carga, duração e temperatura máxima com o consumo energético nos tratamentos efetuados pela empresa:
 - Verificar o coeficiente de correlação entre as variáveis;
 - Identificar a influência da carga no consumo energéticos dos tratamentos;
 - Identificar a influência da duração no consumo energéticos dos tratamentos;
 - Identificar a influência da temperatura máxima no consumo energéticos dos tratamentos;
- Obter indicadores de controlo que permitam avaliar desvios das variáveis no sentido da tomada de decisões na gestão dos tratamentos a realizar;
- Elaborar metodologias que permitam otimizar os tratamentos relativamente ao seu consumo de energia:
 - Identificar qual a carga mais adequada para cada tipo de tratamento;

- Identificar qual o forno mais adequado para a realização de um determinado tipo de tratamento.

Relativamente à Faturação e Contrato Energético:

- Analisar o contrato energético da empresa com vista a encontrar soluções mais económicas - identificar a preferência entre o tarifário semanal normal e semanal opcional, da GALP Energia.

Relativamente ao Diagrama de Cargas:

- Analisar o diagrama de cargas da empresa TRATERME verificando se o mesmo se revela favorável.

1.3 Importância e limitações do estudo

A importância deste estudo assenta na melhoria da eficiência energética da empresa TRATERME. Neste sentido, torna-se foco principal da dissertação a elaboração de uma metodologia a ser seguida pela empresa, que permita otimizar a gestão dos tratamentos térmicos, resultando na redução do seu consumo energético, bem como na redução dos custos económicos que lhes estão associados. Assim, revela-se importante procurar fornecer indicadores de poupança energética, de aplicação prática, no modo de funcionamento da empresa.

Torna-se essencial analisar o processo de produção em termos das variáveis envolvidas e em seguida tomar as medidas, que técnica e cientificamente, sejam mais adequadas. Os indicadores obtidos neste estudo, resultantes da análise do registo de tratamentos térmicos da empresa, permitem dispor de informação que ajuda a gestão dos mesmos, nomeadamente, sobre o forno mais adequado ou a carga que deva ser introduzida no interior do forno para determinado tratamento, atendendo ao tipo de tratamento e à duração prevista para o mesmo.

O projeto revela-se da maior importância pelas implicações que a eficiência energética tem no sucesso das empresas, pois, menores consumos energéticos para conseguir os mesmos resultados trazem benefícios, quer ao meio ambiente, quer à empresa em termos económicos.

Como limitações do estudo salienta-se o facto de haver intervenção humana na introdução dos dados relativos aos tratamentos, dados esses que fundamentam os resultados obtidos nesta dissertação. A introdução dos dados é realizada manualmente, sendo suscetíveis de erros. Defende-se que, se esses dados fossem registados automaticamente, em bases de dados, por sistemas digitais associados às leituras dos equipamentos eletrónicos que registam os valores das variáveis em cada forno, diminuiria a probabilidade de erro na introdução dos dados.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho para além deste capítulo inicial, designado por Introdução, está organizado nos capítulos: Eficiência Energética na Indústria, Descrição da Empresa TRATERME, Metodologias Desenvolvidas, Análise e Caracterização do Consumo Energético e Conclusões e Trabalho Futuro. O trabalho termina com os Anexos e com as Referências Bibliográficas.

Segue-se um breve resumo de cada um dos seguintes capítulos.

Capítulo 2: Eficiência Energética na Indústria

Neste capítulo será feita uma revisão bibliográfica do tema eficiência energética, com referência a políticas energéticas adotadas na indústria portuguesa, sendo dada ênfase às medidas de eficiência energética que estão associadas à indústria de tratamentos térmicos, como é o caso da TRATERME. Serão também abordados os temas da comercialização de energia como contratos energéticos e faturação.

Capítulo 3: Apresentação da Empresa TRATERME

Neste capítulo será feita uma breve descrição da empresa TRATERME, empresa sobre a qual recai o estudo alvo desta dissertação. É feita uma contextualização do ambiente de trabalho, permitindo uma melhor compreensão de cada objetivo deste projeto.

Capítulo 4: Metodologias Desenvolvidas

Serão identificados e discriminados os procedimentos a desenvolver na dissertação, cujos resultados serão registados posteriormente, no decorrer do capítulo 5. Os procedimentos mencionados dizem respeito ao estudo para gestão dos tratamentos, à

análise da faturação e diagrama de cargas da TRATERME e, ainda, a ferramentas que foram desenvolvidas no âmbito da investigação.

Capítulo 5: Análise e Caracterização do Consumo Energético

Neste capítulo será feito o registo dos procedimentos mencionados no capítulo 4, procurando chegar a conclusões através das análises desenvolvidas. Serão referidos os resultados obtidos relativos às metodologias criadas para gestão dos tratamentos, pelo estudo da relação entre variáveis; ao estudo da faturação e diagrama de cargas da empresa e está ainda descrita e apresentada a ferramenta desenvolvida para registo de tratamentos.

Capítulo 6: Conclusões e Trabalho Futuro

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões relativas a cada estudo desenvolvido. Serão ainda sugeridas propostas de trabalho futuro.

Capítulo 2

Eficiência Energética na Indústria

A evolução da ciência e da tecnologia resulta em grande parte do contributo da experiência e das investigações realizadas em cada área de atividade do ser humano. Como a área de atividade da empresa, onde é desenvolvido este estudo, incide sobre o tratamento de metais (tratamentos térmicos) e implica elevado consumo de energia, é dado particular destaque, neste capítulo, às experiências e conhecimento sobre a eficiência energética e sobre os tratamentos térmicos.

A adoção de medidas que conduzem à melhoria da eficiência energética é fundamental em diversas áreas, como sejam a áreas dos Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura.

Como é referido por Menkes [1], a eficiência energética é a capacidade de utilizar menos energia para produzir a mesma quantidade de calor, iluminação, transporte ou outros serviços baseados na energia.

Ao longo deste trabalho são utilizados diversos termos associados à energia e à eficiência energética. Com a intenção de clarificar os seus sentidos e de os tornar de mais fácil compreensão, adotaram-se as definições seguintes, conforme definidas na Diretiva da União Europeia [EU], publicada no jornal oficial da União Europeia, em 14-11-2012, L315/10, no art. 2, do Capítulo I [2]:

1) «**Energia**», todas as formas de produtos energéticos, combustíveis, calor, energia renovável, eletricidade ou qualquer outra forma de energia;

- 2) «**Consumo de energia primária**», o consumo interno bruto, excluindo as utilizações não energéticas;
- 3) «**Consumo de energia final**», toda a energia fornecida à indústria, transportes, agregados familiares, serviços e agricultura, com exceção dos fornecimentos ao setor da transformação de energia e às indústrias da energia propriamente ditas;
- 4) «**Eficiência energética**», o rácio entre o resultado em termos do desempenho, serviços, bens ou energia gerados e a energia utilizada para o efeito;
- 5) «**Economias de energia**», a quantidade de energia economizada, determinada pela medição e/ou estimativa do consumo antes e após a aplicação de uma medida de melhoria da eficiência energética, garantindo simultaneamente a normalização das condições externas que afetam o consumo de energia;
- 6) «**Melhoria da eficiência energética**», o aumento de eficiência energética resultante de mudanças tecnológicas, comportamentais e/ou económicas;
- 7) «**Serviço energético**», os benefícios tangíveis, a utilidade ou as vantagens resultantes de uma combinação de energia com tecnologias e/ou ações energeticamente eficientes – incluindo as operações, a manutenção e o controlo necessários para a prestação do serviço – que seja realizado com base num contrato e que, em condições normais, tenha dado provas de conduzir a uma melhoria verificável e mensurável ou estimável da eficiência energética ou da economia de energia primária.

Santos [3] afirma que, na perspetiva económica, a eficiência energética permite reduzir a relevância das faturas energéticas no sector industrial, aumentando a sua competitividade na UE, e estimulando a criação de tecnologias mais eficientes, promovendo o crescimento e desenvolvimento económico e criando postos de trabalho em vários sectores ligados à eficiência energética.

O IAPMEI, LNEG e ADENE [4], defendem que a eficiência energética tem como expectativa, para além da minimização da intensidade energética e a sua dependência na sociedade, reduzir a fatura energética, contribuindo, deste modo, para a competitividade das empresas. As empresas beneficiam de poupança de recursos, de maior produtividade e melhor controlo dos processos produtivos.

Abdelaziz et al. [5] reforça que a gestão de energia tem hoje um papel essencial na indústria. Sendo, cada vez mais, uma prioridade das empresas a redução do orçamento

energético, estas passam a dar conta de que podem melhorar economicamente ao mesmo tempo que contribuem para a redução da pegada ecológica, protegendo o meio ambiente. Cada vez mais, as empresas abraçam projetos de conservação de energia, afirma.

O IAPMEI et al. [4] sugerem que, na indústria, a eficiência energética pode ser melhorada por três abordagens diferentes de economia de energia: pela administração, pelo uso da tecnologia e por políticas e regulamentos.

Fernandes [6], salienta que o consumo intensivo de energia é uma das grandes preocupações mundiais, tendo a eficiência energética um papel bastante importante, não só na sua redução como também no desenvolvimento económico dos diferentes sectores de atividade. Em Portugal, tem existido, por parte do governo, grande evolução legislativa relativamente ao aumento da eficiência energética nos edifícios, tendo sido criados alguns planos nacionais de promoção de eficiência energética e da utilização de energias renováveis para produção e uso de energia. O mesmo autor refere que a identificação de novas oportunidades para se poupar energia é vital, não só para que os governos criem políticas adequadas, mas também para que a indústria implemente ações técnicas de poupança de energia.

2.1 Políticas de Eficiência Energética na Indústria

A política energética é, para Abdelaziz et al. [5], a maneira pela qual uma determinada entidade decide abordar procedimentos de desenvolvimento energético, o que pode resultar de legislação, tratados internacionais, incentivos ao investimento, acordos, diretrizes para conservação de energia, padrões de eficiência energética ou mesmo rótulos de guia de energia. A fonte salienta que, vários tipos de políticas e de programas, são atualmente utilizados em vários países em todo o mundo, com vista na melhoria da eficiência energética no setor industrial, atendendo a metas específicas de uso de energia ou de eficiência energética. A política energética industrial pode ser vista como uma ferramenta para desenvolver um plano estratégico de longo prazo, cobrindo um período de 5-10 anos, para aumentar a eficiência energética industrial e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

Russell [7] afirma que as iniciativas de eficiência energética são selecionadas pelo potencial que têm de reduzir o desperdício, minimizar as despesas, economizar tempo, reduzir o risco operacional e aumentar as receitas através de uma maior produtividade.

Existe uma diversidade de políticas públicas energéticas implementadas em Portugal, baseadas nas desenvolvidas pela União Europeia (EU).

Portugal estabeleceu uma Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), definindo diversas metas e tendo como principais objetivos a redução da dependência energética do país. Assim, tais metas visam: o aumento da produção de energia recorrendo ao uso de recursos internos; a garantia do cumprimento dos compromissos estabelecidos com a UE; a redução, em 25%, do saldo importador energético através do uso energia produzida a partir de fontes endógenas; a criação de riqueza e a consolidação de um cluster energético no sector das energias renováveis; o desenvolvimento de um cluster industrial associado à promoção da eficiência energética (Santos [3]).

Em IAPMEI et al. [4], refere-se que, entre as metas desenvolvida pela EU, até 2020, está a redução de 20% de consumo energético, por aumento da eficiência energética, que vem a ser apoiada por um dos eixos de trabalho da ENE 2020 que passa pela “Promoção da Eficiência Energética”. Por sua vez, este ideais servem de inspiração e foco principal do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE)."

De entre as áreas de abrangência do PNAEE encontram-se os Transportes, o setor Residencial e de Serviços, a Indústria e o setor Estado. Para a área da Indústria, o PNAEE tem dois conjuntos de medidas de aplicação: medidas transversais que englobam todas as áreas, e medidas específicas a cada setor da indústria.

Relativamente a medidas transversais selecionadas para o aumento da eficiência energética da Indústria, têm-se: a melhoria de processos organizativos; a alteração de comportamento dos agentes económicos; a utilização de tecnologias mais eficientes.

2.2 Medidas de Eficiência Energética em Industrias de Tratamentos Térmicos

Freitas [8], refere-se ao tratamento térmico de metais como a transformação de microestruturas dos metais. Refere que a alteração das características dos diversos tipos de metais, permite atender a diferentes solicitações mecânicas requeridas em projetos de peças que fazem parte de equipamentos compostos de materiais metálicos. O autor afirma que os tratamentos de metais têm uma forte dependência das condições em que são realizados: no controlo e aquecimento/arrefecimento do forno e na intervenção humana.

Neste sentido, Ferreira [9], defende que devem ser feitas formações internas às empresas que realizam tratamentos térmicos. Essas formações têm como objetivo a sensibilização para a poupança energética, bem como dar a conhecer algumas ações, que, a longo prazo têm um impacto significativo. Para além de formações gerais ligadas aos aspetos ecológicos e sociais associados a tratamentos térmicos, será interessante formar os operadores acerca das implicações energéticas associadas a uma melhor ou pior utilização do forno.

São vários os tipos de fornos utilizados na indústria para a realização de tratamentos térmicos. Magueijo, Fernandes, Matos, Nunes, Calau, Carneiro e Oliveira [10], são de opinião que, fatores como a construção e isolamento térmico dos fornos, têm forte influência na sua eficiência térmica. De acordo com os mesmos autores, para que os fornos tenham um desempenho otimizado, devem ter um equipamento que limite não só o consumo energético, mas também a emissão de gases, em caso de interrupção do sistema, facilitando o arrefecimento do forno. Relativamente à recuperação parcial do calor dos gases de combustão que saem do forno, devem ser minimizadas as perdas energéticas com a sua utilização prévia em sistemas de recuperação de calor, fazendo o retorno/reciclagem dos gases ao forno. Os autores acrescentam que as perdas energéticas são minimizadas se o forno tiver um elevado gradiente de temperatura, ao longo do seu comprimento, e se os gases que saem da extremidade mais fria forem usados para o pré-aquecimento das peças metálicas antes destas entrarem no forno.

Ferreira [9], vem reforçar que existem algumas situações que contribuem para uma maior ou menor eficiência energética nas instalações, entre as quais a carga média presente no forno, tendo em conta a sua capacidade nominal, o tempo de abertura da porta do forno nas ações de carga e descarga do material, a manutenção do isolamento térmico dos fornos de modo a prevenir fugas de calor, a seleção e correto manuseamento das bases onde é colocado o material.

Magueijo et al. [10], salienta que as experiências industriais têm registado poupanças energéticas até 10% quando um forno opera de forma correta e tem uma manutenção periódica adequada.

2.3 Contratos Energéticos e Faturação

Ferreira [9], defende que o desenvolvimento da indústria está bastante ligado ao aumento do consumo de energia elétrica, referindo que, nem sempre, este aumento é realizado de forma eficiente. De facto, os desperdícios de energia verificados em todo o mundo são significativos, sendo por isso importante aumentar a eficiência energética nas instalações consumidoras de energia elétrica.

Numa ação de formação em eficiência energética dada pela GALP Energia no programa GALP PROENERGY [11], é abordada a importância da análise das faturas de energia de uma empresa, apoiando que pode ter várias finalidades, sendo que todas elas têm como foco a sua redução. Desde logo essa análise permite que seja feito um levantamento dos valores de energia que estão a ser gastos pela empresa, tanto potência ativa como reativa (consumida e fornecida) bem como identificar o preço que lhe é associado. Isso pode funcionar como rastreio de situações anómalas que apontem para a existência de um possível problema.

Ainda com a finalidade de reduzir a fatura energética está a escolha do contrato de energia mais adequado. A GALP PROENERGY [11] afirma que o contrato dever ser apropriado ao perfil de consumo da empresa e que a potência contratada deve ser ajustada às necessidades concretas da empresa.

Ferreira [9], apoia a instalação de contadores de energia parciais nas indústrias no sentido de que a existência de um bom estudo e caracterização fidedigna dos consumos de uma instalação depende muito da qualidade dos dados recolhidos. Afirma que a existência de contadores de energia parciais, espalhados pelos principais quadros elétricos da instalação, se possível até em cada equipamento (fornos), vão tornar o tratamento de dados muito mais simples, bem como aumentar o volume de informação disponível para trabalhar, e assim, retirar melhores conclusões da evolução e comportamento das instalações. A existência de um mecanismo de gestão de energia pode trazer vantagens na sua poupança o que, indiretamente, leva a poupanças económicas.

Fernandes [6], reforça que a instalação de contadores inteligentes é uma medida que se baseia no alargamento da telegestão e de telecontagem dos consumos finais de energia, e que visa o controlo e a potencial diminuição dos consumos e custos relacionados com a utilização de energia, potenciando assim a eficiência energética e a sustentabilidade ambiental. Com estas ferramentas pode ser feita uma análise detalhada dos consumos,

conduzindo a uma efetiva alteração comportamental no que diz respeito à eficiência energética.

No sentido de otimizar o diagrama de cargas de uma empresa, Rodrigues [12], através de um estudo realizado numa empresa do setor industrial, conclui que a melhor maneira de se reduzirem custos elétricos passa por colocar as linhas de produção que mais energia consomem, nos períodos noturnos e/ou períodos de fim-de-semana, tendo assim associadas tarifas de consumo de potência ativa de valor inferior.

Por outro lado, segundo a ERSE [13], dada a necessidade de certas empresas industriais terem ao seu dispor níveis de potência elevados e serem grandes consumidores de energia, têm acesso a opções tarifárias diversificadas que devem ser adaptadas aos perfis de consumo das referidas empresas (Anexo A).

Capítulo 3

Apresentação da Empresa TRATERME

Neste capítulo é feita a contextualização do ambiente em que o estudo foi desenvolvido, apresentando as razões que o justificam. É feita uma breve apresentação da empresa TRATERME, dos tratamentos térmicos que realiza, bem como a caracterização dos fornos e modo de funcionamento da empresa – gestão e registo dos tratamentos.

A TRATERME é uma empresa que pertence ao sector industrial e é especializada em serviços de tratamentos térmicos. É constituída por um elevado número de máquinas de elevada potência, que trabalham diariamente, em geral, em simultâneo, pelo que se revela um forte consumidor de energia. A fatura energética anual ronda os 100 000 € (dados de 2016), sendo que cerca de 95% corresponde ao consumo dos fornos elétricos. Surge, assim, um especial interesse pela procura de modos de funcionamento energeticamente mais eficientes no que diz respeito à gestão do trabalho e acionamento dos fornos na empresa.

A empresa foi criada em 1991, encontrando-se a sua sede, atualmente, em funcionamento, na Maia, Portugal. A TRATERME realiza ainda trabalhos “on-site”, isto é, trabalhos no local em diferentes regiões do país e mesmo no estrangeiro. Da equipa de trabalho, para além dos funcionários que manobram os processos, fazem parte uma equipa de engenheiros metalúrgicos e de soldadura responsáveis, para além dos trabalhos que lhes são adjacentes, pela supervisão dos trabalhos realizados na empresa.

A TRATERME é uma empresa certificada que respeita os requisitos definidos pelas seguintes normas: norma EN ISO 9001: 2008 relativa a Sistemas de Gestão de Qualidade; norma ISO 14001: 2004 de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA); OHSAS 18001:2007 de Sistemas de Gestão da Segurança e da Saúde no Trabalho.

3.1 Instalação elétrica da TRATERME

A instalação elétrica da TRATERME é alimentada em Média Tensão (MT/15 kV) com uma potência instalada de 1250 kVA. Atualmente tem em vigor um contrato de fornecimento de energia com a GALP Energia: tarifa contratada MT \leq 3000 MWh, ciclo semanal opcional com feriados, potência contratada 581,25 kVA. Tem um posto de transformação privativo (desde 2008), equipado com um transformador trifásico de potência 1250 kVA.

3.2 Tratamentos térmicos da TRATERME

A TRATERME realiza tratamento térmico em diferentes áreas de trabalho. Desde novas construções ou recuperação de peças: em refinarias de petróleo, em petroquímicas, em plataformas petrolíferas, tanto em alto mar como em terra firme, e até mesmo em centrais elétricas ou nucleares. Presta serviço especializado à indústria automóvel, bem como a fundições (de aço e ferro). Realiza tratamentos térmicos de pré-aquecimento e pós-soldagem em tubagens, em recipientes sob pressão e em estruturas no geral. Possui para este tipo de tratamentos um equipamento portátil de tecnologia avançada, composto por resistências com um isolamento de lã cerâmica ecológica.

A empresa na área de negócios “on-site”, apresenta uma posição sólida no mercado, reconhecida pelo profissionalismo dos seus funcionários nos trabalhos que realiza, primando pela adaptação dos seus serviços à atualidade. Os tratamentos realizados “on-site” são: pré e pós aquecimentos de soldaduras, recozimentos, normalizações, alívio de tensões.

Nas suas instalações a TRATERME realiza os seguintes tratamentos térmicos e termoquímicos: alívio de tensões, cementação, endurecimento, ferritização, homogeneização, normalização, recozimento, revenido, têmperas e hipertêmperas (a óleo, água e ao ar) (TRATERME, s/d) [14]. As características principais que diferenciam os tratamentos térmicos são a variação de temperatura ao longo do tratamento e a duração.

3.3 Caracterização dos fornos da TRATERME

Nas suas instalações a TRATERME contém nove fornos elétricos industriais (fornos de resistências). É neles que as peças de aço e, pontualmente, ferro fundido obtêm as propriedades definidas pelos clientes, após passarem por um processo de controlo da temperatura ao longo de todo o período de tratamento.

Cada forno contém dois equipamentos eletrónicos para registo de valores de variáveis: um controlador que regista as temperaturas e o tipo de tratamento, e um contador que regista o consumo energético (em kWh).

As características dos fornos estão agrupadas e registadas, de forma sucinta, na Tabela 3.1, a qual contém informações acerca da capacidade do equipamento, ou seja, a sua carga máxima (em kg), da temperatura máxima a que o forno pode estar sujeito (em °C) e ainda o registo da sua potência (em kW).

Tabela 3.1: Características dos fornos da TRATERME.

	Capacidade Carga (kg)	Temp. max (°C)	Potência (kW)
1	450	950	75
2	1800	1150	100
3	300	1000	20
4	1200	1150	53
5	2500	1120	130
6	200	1100	16
7	2800	1100	122
8	600	1100	30
9	1800	1150	120

3.4 Funcionamento da TRATERME

Neste tópico é apresentada uma descrição do modo como é feita a distribuição dos tratamentos pelos fornos da empresa e é feita referência ao modo como são obtidos os dados que serão tratados e estudados, na realização desta dissertação.

Gestão dos Tratamentos

Na empresa há a preocupação de fazer uma gestão de tempo, carga e escolha dos fornos dos tratamentos para responder, da melhor forma, às exigências dos clientes, no entanto não são definidos critérios fundamentados para a escolha de forno ou de carga.

Relativamente à escolha do forno, prioritariamente, utilizam-se aqueles que estiveram a ser utilizados anteriormente para aproveitar o calor do forno.

Quanto à escolha da carga procura-se que seja maximizada consoante a quantidade de trabalho em espera. Contudo, os responsáveis pela gestão dos tratamentos têm em atenção que o aumento da carga diminui a taxa de aquecimento do forno, já que um forno mais carregado leva mais tempo até que todas as peças estejam igualmente aquecidas.

Revela-se assim pertinente a análise das variáveis que influenciam o consumo energético, de forma a criar indicadores que ajudem na gestão dos tratamentos na empresa.

Registo de Tratamentos

A empresa procede manualmente ao registo de todos tratamentos e das suas principais características, baseados nas leituras dos controlador e contador que estão associados a cada forno. Considera-se ainda a carga que foi introduzida no forno. Todas as variáveis são anotadas numa folha, em papel, presente junto de cada forno, sendo os dados posteriormente introduzidos, manualmente, numa folha de Excel. Um exemplo das folhas de registo encontra-se no Anexo B.

Atendendo à possibilidade de ocorrerem erros associados ao processo de introdução dos valores no programa Excel, já que a atividade depende da intervenção direta humana, revela-se interessante adotar estratégias que diminuam a possibilidade de erros ou contradições. Nesse sentido foi criado um formulário, igualmente em Excel, capaz de verificar e validar a informação inserida, alertando para eventuais erros. A descrição e processo de construção da ferramenta são apresentados no Capítulo 5 desta dissertação.

Capítulo 4

Metodologias Desenvolvidas

Os estudos desenvolvidos seguem uma metodologia essencialmente experimental.

Constituindo o principal objetivo desta investigação a melhoria da eficiência energética, procuram-se encontrar métodos e estratégias de diminuição do consumo energético e, conseqüentemente, da fatura energética da empresa TRATERME.

Nesse sentido, a redução do valor da fatura pode ser conseguida com a intervenção a dois níveis distintos. Por um lado, através de alterações implementadas na gestão dos tratamentos, no sentido de otimização dos processos, conduzindo à redução da energia consumida, por outro, recorrendo a alterações contratuais.

Desta forma, os dados utilizados nos estudos podem ser enquadrados em duas categorias distintas. Uns estão associados às variáveis envolvidas nos tratamentos, que serão tratados no tópico designado por “Gestão dos Tratamentos na TRATERME” e os outros associados à faturação e diagrama de cargas que serão tratados no tópico designado por “Faturação e Diagramas de Carga da TRATERME”.

Um tratamento térmico pode ser definido pelos seguintes parâmetros: tipologia (Ex. Normalização, Recozimento, etc.), duração do ciclo térmico, variação da temperatura, carga e pelos gases envolvidos na criação da atmosfera.

Neste caso, será utilizada a designação “Gestão dos Tratamentos” como a estratégia de trabalho a adotar no sentido de escolher o forno em que cada tratamento térmico acontece, bem como a data e hora em que acontece, e ainda a carga de material que irá ser tratada.

4.1 Gestão dos Tratamentos na TRATERME

Com a finalidade de escolher a melhor estratégia de trabalho a adotar para uma melhor gestão dos tratamentos da TRATERME, será feita uma análise à relação entre as variáveis de influência. Nos dados recolhidos para análise consta o registo de 1060 tratamentos, realizados no período entre 1 de janeiro de 2016 e 26 de abril de 2017.

No registo dos tratamentos as variáveis consideradas são: forno, tipologia de tratamento, carga, data, duração, temperatura (no início, máxima e fim) e energia consumida. Apresenta-se uma breve caracterizada das variáveis alvo de estudo.

4.1.1 Caracterização das variáveis

Forno

Os registos dos tratamentos salientados referem-se a um total de oito fornos, numerados de 1 a 9, com exclusão do forno 8 que não se encontra em funcionamento. As suas características encontram-se na Tabela 3.1, capítulo 3.

Carga

A carga de um tratamento diz respeito à quantidade de material que se introduz no forno e mede-se em quilogramas (kg). Os valores de carga de todos os registos de tratamentos, considerados no estudo, variam de 0,14 kg a 3089 kg. Contudo, existem duas exceções em que foram realizados tratamentos parciais de uma peça com maior carga, chegando a registar-se uma carga de 3819 kg

Para analisar o efeito da carga no consumo energético dos tratamentos foram criados quatro intervalos de carga, designados por Carga_Baixa, Carga_Média, Carga_Alta e Carga_Muito_Alta. Esta divisão foi feita de forma a agregar as cargas mais comuns no modo de trabalho da empresa.

O intervalo de valores correspondentes às categorias referidas são:

- Carga_Baixa: inferior a 700 kg;
- Carga_Média: [700; 1400[kg;
- Carga_Alta: [1400; 2100] kg;
- Carga_Muito_Alta: superior a 2100 kg.

Duração dos Tratamentos

A duração dos tratamentos é fortemente influenciada pela espessura das peças tratadas e pela tipologia de tratamento, tornando-se um parâmetro previamente definido. Facilmente se percebe que em peças do mesmo material, uma com maior dimensão sujeita à mesma temperatura, leva mais tempo para que esteja homogeneamente aquecida (desde o exterior ao interior com a mesma temperatura), do que uma peça de menor dimensão.

Os valores de duração de todos os registos de tratamentos em análise nesta parte do projeto variam de 25 min a 27 h 50 min.

Temperatura Máxima

A temperatura máxima (TMax) é especificada em cada tipo de tratamento que juntamente com a duração e variação da temperatura do forno definem o tipo de tratamento que está a acontecer. Os valores de temperatura máxima de todos os registos de tratamentos dos dados em análise variam de 87 °C e 1075 °C.

Relativamente à temperatura máxima, para analisar o seu efeito no consumo energético dos tratamentos, torna-se essencial criar intervalos de temperatura de forma a agregar as temperaturas máximas mais comuns nos tratamentos realizados na empresa.

Para tal, construiu-se o histograma apresentado na Figura 4.1 com a distribuição dos tratamentos por 10 intervalos de temperatura definidos automaticamente pelo Excel.

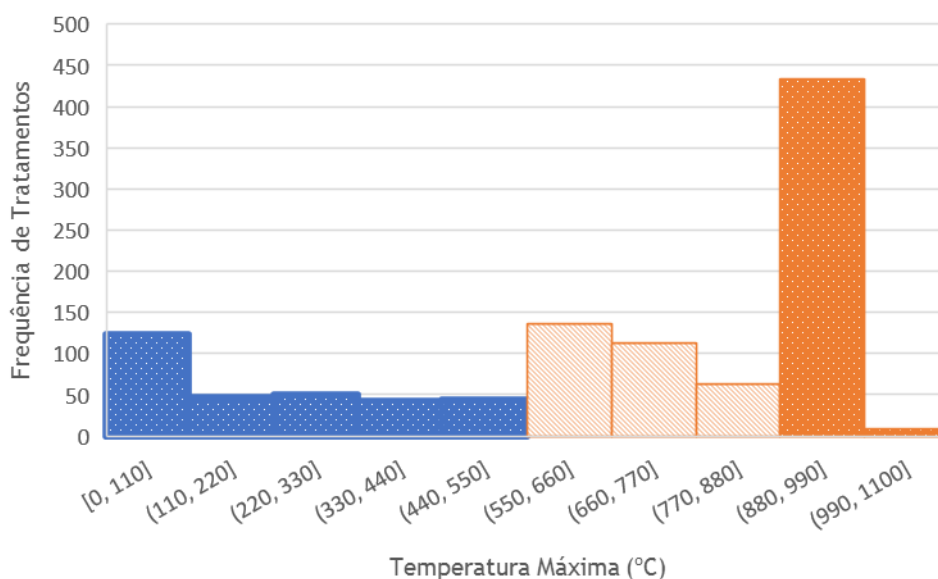


Figura 4.1: Frequência de tratamentos por intervalos de TMax.

Por observação do histograma, considerou-se que os intervalos mais adequados e de fácil interpretação para as análises pretendidas com esta variável são: [0, 500[, [500, 900[e [900, 1100] em °C.

Tratamentos Térmicos

Os dados analisados neste estudo englobam 13 tipos de tratamentos, a saber: Alívio de Tenções, Cementação, Endurecimento, Ferritização, Homogeneização, Normalização, Recozimento, Revenido, Temperas (a água, óleo e ar), e Hipertemperas (a água e ar).

Os intervalos de TMax criados podem englobar a maior parte dos tratamentos de determinada tipologia: no intervalo de TMax inferior a 500 °C podem inserir-se os Revenidos; o intervalo [500; 900[engloba os Alívios de Tensão, Ferritizações, Normalizações e Recozimentos; nas TMax superiores a 900 °C encontram-se as Hipertêmperas.

4.1.2 Procedimento realizado

Os dados foram organizados e tratados estatisticamente no programa EXCEL e no programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Para análise dos dados foram realizados os seguintes procedimentos:

- Tratamento e formatação dos dados fornecidos no EXCEL de forma a possibilitar o seu fácil manuseamento;
- Identificação e exclusão de dados que se revelavam, à partida, incoerentes;
- Cálculo do coeficiente de correlação de Spearman, recorrendo ao programa estatístico SPSS, no sentido de identificar o grau de associação entre as variáveis em estudo (consumo, carga, duração);
- Verificação de relações entre pares de variáveis;
- Comparação múltipla entre médias de valores das variáveis.

4.2 Faturação de Eletricidade e Diagrama de Cargas da TRATERME

Considerou-se uma mais-valia analisar cuidadosamente a faturação energética da TRATERME, tendo sido disponibilizadas pela empresa as faturas referentes aos 12 meses do ano de 2016. Estas foram analisadas com a intenção de identificar eventuais erros de medição e levantamento de consumos mensais.

Dos procedimentos associados à redução da fatura energética da empresa destacam-se:

- Registo de todas as parcelas constituintes da fatura no programa Excel para facilitar e possibilitar eventuais cálculos e simulações;
- Simulação do valor da fatura aplicando tarifas energéticas diferentes.

Relativamente aos diagramas de carga, foi disponibilizado pela GALP Energia, por intermédio da TRATERME, uma “Pauta de Carga” do mês de fevereiro de 2017, que corresponde ao registo da energia ativa e reativa que deu origem à faturação do mês referido.

Para análise dos diagramas de carga o procedimento realizado foi:

- Criação do diagrama mensal e semanal referente ao mês de fevereiro de 2017;
- Identificação dos períodos horários nos diagramas criados;
- Verificação da taxa de consumo nos diferentes períodos.

Para facilitar a compreensão do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação, foi criado um fluxograma que representa esquematicamente parte da metodologia desenvolvida (Figura 4.2).

4.3 Aplicação Computacional para Registo de Tratamentos

Os dados referentes aos tratamentos realizados na TRATERME são inseridos manualmente numa base de dados em Excel, de modo a serem arquivados e utilizados em possíveis análises.

Foi identificada a necessidade de validar os dados e reduzir os erros associados à intervenção humana na sua introdução para que os registos na base de dados fiquem o mais próximo dos acontecimentos reais.

Foi elaborada, pelo autor do estudo, uma ferramenta, baseada num formulário de introdução de dados no Excel, para que os dados possam ser introduzidos de forma fácil, simples e intuitiva.

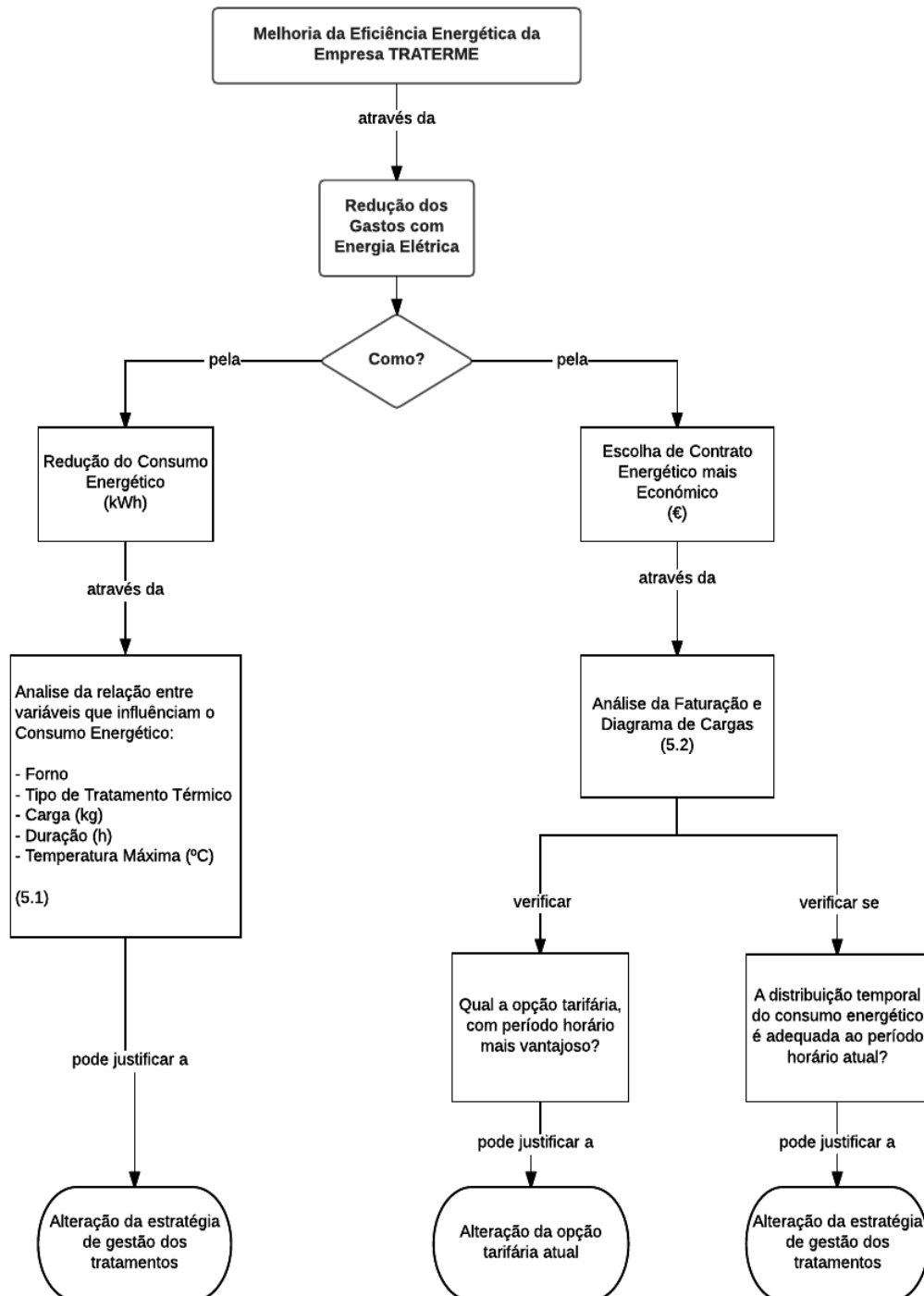


Figura 4.2: Fluxograma da Metodologia Desenvolvida

Capítulo 5

Análise e Caracterização do Consumo Energético

O principal objetivo desta dissertação consiste em analisar a eficiência energética no contexto do problema da empresa TRATERME com a intensão de contribuir para a sua melhoria. Neste capítulo apresenta-se a análise dos dados recolhidos na empresa: evidencia-se as relações entre as variáveis associadas ao consumo energético; analisa-se a faturação de eletricidade e o diagrama de cargas da empresa; descreve-se uma aplicação informática desenvolvida com a finalidade de facilitar o registo dos tratamentos na empresa.

5.1 Gestão dos Tratamentos na TRATERME

A gestão dos tratamentos na empresa passa por uma estratégia de calendarização dos mesmos, pela escolha do forno onde irão ocorrer, e pela escolha da carga que será introduzida no forno.

Para cada encomenda, de cada um dos clientes, está definido o tipo de tratamento a realizar com a peça (ou conjunto de peças de aço ou ferro), a variação da temperatura ao longo do tratamento e a sua duração. Posto isto, cabe ao responsável pela gestão dos tratamentos na TRATERME, escolher a carga e o forno para cada tratamento.

Assim, consideram-se variáveis de estudo nesta dissertação: forno, tipo de tratamento, carga (kg), duração (h) e temperatura máxima (°C). Será feito um estudo à relação dessas variáveis de forma analisar a influência que têm no consumo energético (kWh).

5.1.1 Variáveis que influenciam o consumo energético

As análises realizadas neste tópico têm por base o registo de 1060 tratamentos térmicos, ocorridos na TRATERME, entre janeiro de 2016 e abril de 2017. Começa-se por evidenciar a quantidade de tratamentos realizados de cada tipologia em cada um dos fornos. Na Tabela 5.1 apresenta-se a distribuição dos tratamentos por tipo e por forno.

Tabela 5.1: Distribuição dos tratamentos por tipo e por forno.

Cod	Tratamento	Fornos								Total por tratamento
		1	2	3	4	5	6	7	9	
AT	Alívio de Tensões		10	7	5	21	14	26	5	88
CM	Cementação	21			1					22
EN	Endurecimento				5					5
FE	Ferritização			2	11	22		36		71
HTA	Hipertêmpera a Água		1	2				1		4
HT	Hipertêmpera ao Ar			3			1	1		5
HO	Homogeneização				1					1
NR	Normalização		9	6	16	58	1	108	20	218
RC	Recozimento		14	4	6	15		21	2	62
RV	Revenido		78	14	24	33	69	63	32	313
TA	Têmpera a Água		2	5	7	2	4	1	38	59
TO	Têmpera a Óleo	154	33		3	14		2		206
TM	Têmpera	2				4				6
Total por forno		177	147	43	79	169	89	259	97	1060

Da observação da Tabela 5.1 constata-se que o maior número de tratamentos ocorre no forno 7, seguindo-se, com número elevado de tratamentos, o forno 1, o forno 5 e o forno 2. Por outro lado, os tipos de tratamento mais realizados foram o Revenido, a Normalização, a Têmpera a Óleo, o Alívio de Tensões, a Ferritização e o Recozimento.

i. Consumo médio por Forno

Conhecida a frequência de tratamento por forno e tipologia, é apresentada na Tabela 5.2 a distribuição das somas dos consumos de energia, por forno, assim como o respetivo Consumo Médio (CM).

Dada a necessidade de utilizar a expressão “Consumo Médio” dos tratamentos recorrentemente, esta será substituída pela sigla CM.

Tabela 5.2: Consumo médio por forno.

Forno	Número de tratamentos	Soma dos Consumos (kWh)	CM por Forno (kWh)
1	177	42949	242,65
2	147	50767,33	345,36
3	43	8894,68	206,85
4	79	28108,6	355,81
5	169	104110,02	616,04
6	89	5717,62	64,24
7	259	163481,39	631,20
9	97	43886,39	452,44
Total Geral	1060	447915,03	422,56

Para facilitar a interpretação dos dados da Tabela 5.2, apresenta-se na Figura 5.1 uma representação gráfica do CM por forno e ainda o registo da potência (kW) e da capacidade de carga (kg) de cada forno.

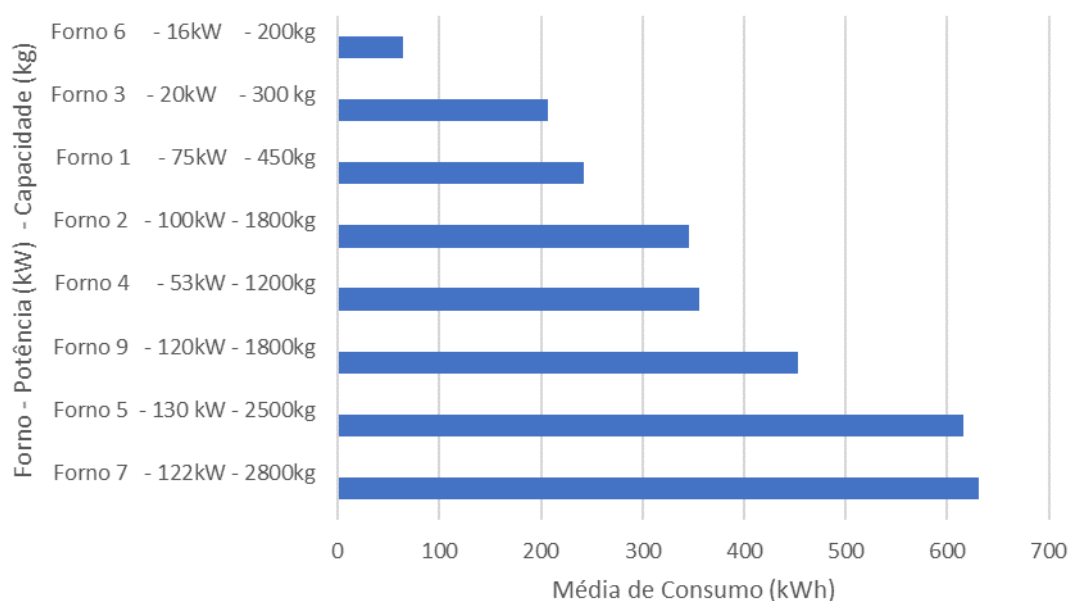


Figura 5.1: Consumo médio por forno.

Conclui-se, pela observação da Figura 5.1, que o forno que apresenta CM mais baixo é o forno 6, enquanto os que apresentam CM mais elevado são o forno 7 e o forno 5.

Verifica-se uma tendência para CM mais elevado em fornos de maior potência. Contudo, constata-se que o forno 4, embora tenha uma potência mais baixa, o seu CM é superior ao dos fornos 1 e 2. Por outro lado, o forno 5, que tem maior potência entre os fornos, apresenta CM inferior ao CM do forno 7.

Atendendo à capacidade dos fornos, a tendência é que o CM aumente no mesmo sentido que o aumento dessa capacidade, com exceção do forno 4 que, embora tenha uma capacidade inferior à do forno 2, apresenta maior MCT do que esse.

De forma a ter em conta a capacidade dos fornos, que limita a quantidade de material por tratamento térmico, será realizada uma análise idêntica à anterior, tratando-se agora da MC por unidade de carga (uCarga) que vem em kWh/kg, para cada forno (Tabela 5.3).

Tabela 5.3: Médias de consumo/kg em cada forno.

	Forno								Média Geral
	1	2	3	4	5	6	7	9	
Médias cons/uCarga (kWh/kg)	3,01	0,66	2,18	0,87	0,69	6,43	0,50	2,61	1,76

É apresentada a representação gráfica dos dados da Tabela 5.3 na Figura 5.2.

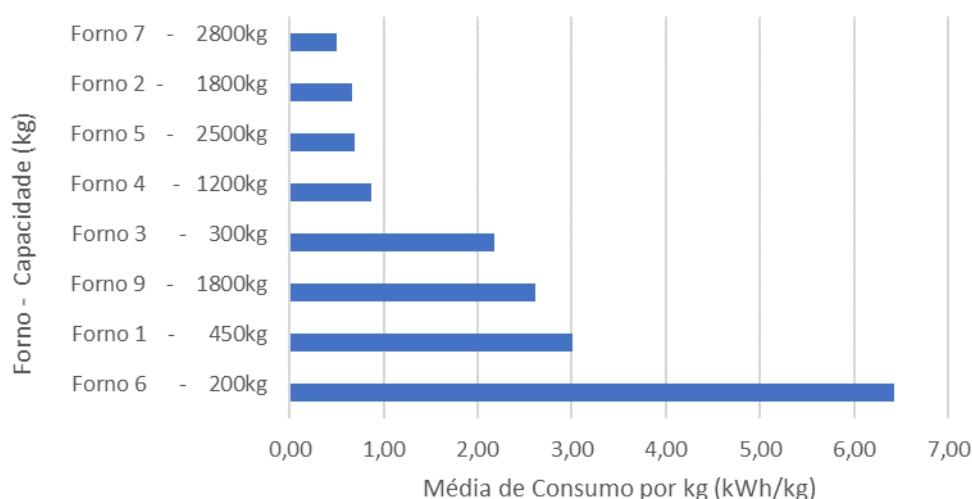


Figura 5.2: Média de consumo/uCarga por forno.

Quando se trata do CM/kg dos fornos, o resultado da ordenação dos fornos pelo mais eficiente evidencia diferenças notórias (Figura 5.2). O forno 6, que apresentava o CM

mais baixo, apresenta agora o CM/kg mais elevado. Em ordem inversa, o forno 7 que apresentava o CM máximo, apresenta um CM/uCarga mínimo.

Assim, constata-se que, tendencialmente, os fornos com maior capacidade apresentam CM/kg menor, como é o caso dos fornos 7, forno 5 e forno 2. No entanto, o forno 9 não segue a tendência, revelando um CM/kg superior ao dos fornos 4 e forno 3 que têm capacidade menos.

ii. Consumo médio por Tipo de Tratamento

O consumo médio dos tratamentos térmicos é um indicador que permite identificar tendências, não só sobre o consumo de cada forno, mas também sobre o consumo de cada tipo de tratamento. Na Tabela 5.4 apresenta-se a distribuição do CM por tipo de tratamento e a respetiva representação gráfica apresenta-se na Figura 5.3.

Destaca-se, pela análise da Figura 5.3, que os tipos de tratamentos que apresentam maior CM são a Normalização, a Ferritização e o Recozimento.

De forma semelhante à realizada para os fornos, uma vez que a capacidade dos fornos tem influência no CM/kg dos tratamentos, será analisada a relação do CM/kg para cada tipo de tratamento. A Tabela 5.5 apresenta o CM/kg para cada tipo de tratamento.

Tabela 5.4: Consumo médio por tipo de tratamento.

Tratamento	Número de Tratamentos	Soma Consumos (kWh)	CM por tipo de tratamento (kWh)
Alívio de Tensões	88	22 289,07	253,28
Cementação	22	6 818,52	309,93
Endurecimento	5	1 224,95	244,99
Ferritização	71	51 282,60	722,29
Hipertêmpera a Água	4	2 189,07	547,27
Hipertêmpera ao Ar	5	2 323,49	464,70
Homogeneização	1	166,36	166,36
Normalização	218	165 667,90	759,94
Recozimento	62	41 483,79	669,09
Revenido	313	66 439,43	212,27
Têmpera a Água	59	27 951,23	473,75
Têmpera a Óleo	206	57 037,79	276,88
Têmpera	6	3 040,83	506,81
Total Geral	1060	447 915,03	422,56

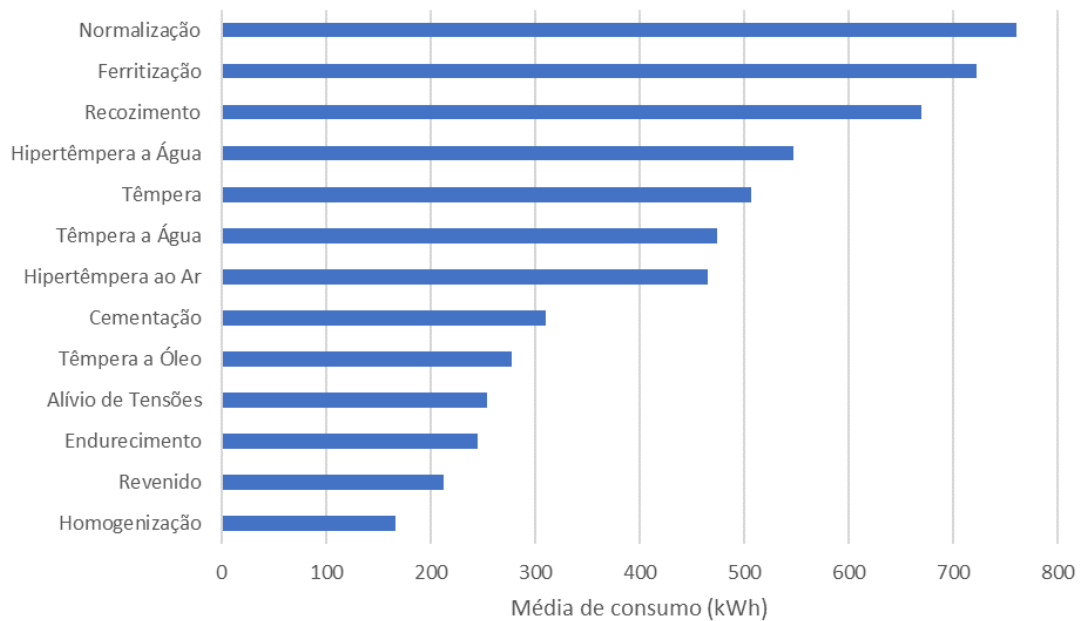


Figura 5.3: Média de consumo por tipo de tratamento.

É apresentada a representação gráfica dos dados da Tabela 5.5 na Figura 5.4.

Tabela 5.5: Média de consumos por kg em cada tipo de tratamento.

	Tipo de Tratamento												
	AT	CM	EN	FE	HTA	HT	HO	NR	RC	RV	TA	TO	TM
MC/uCarga (kWh/kg)	1,54	2,81	0,77	0,74	1,77	1,62	0,50	0,62	0,69	1,97	4,18	2,66	0,56

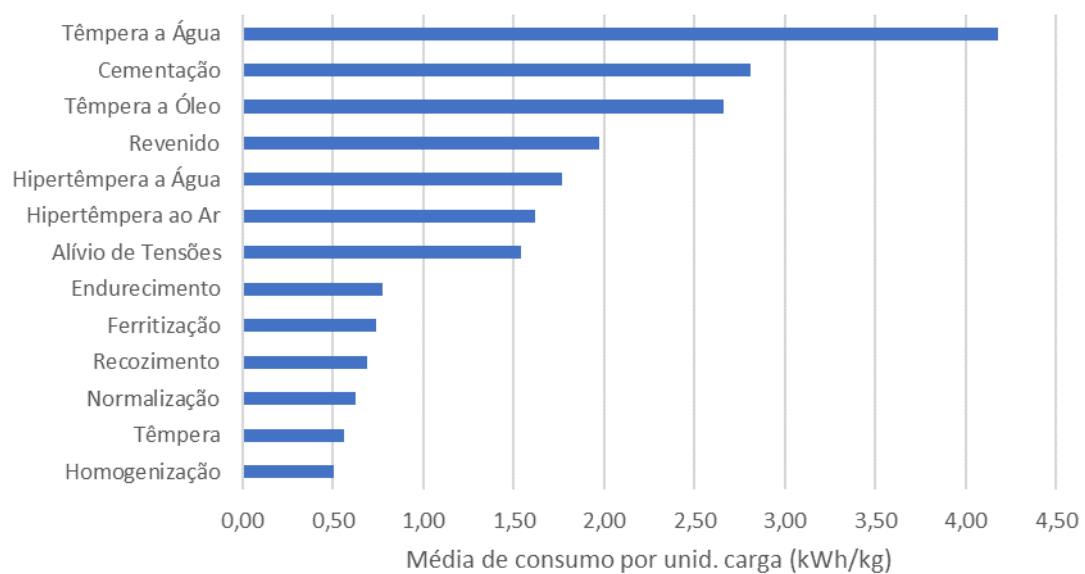


Figura 5.4: Consumo médio por unidade de carga em cada tipo de tratamento.

A ordenação dos tipos de tratamento pelo CM/kg revela-se, tal como para os fornos, distinta da ordenação por CM. Relativamente ao consumo por unidade de carga, os tipos de tratamentos que revelam mais dispendiosos são a Têmpera a Água, a Cementação e a Têmpera Óleo. Contudo, em contrapartida, os tratamentos do tipo Normalização, Recozimento e Ferritização são dos que apresentam MC/kg mais baixas.

Consumo médio por Forno e Tipo de Tratamento

Após a identificação dos CM e CM/kg por forno e tipo de tratamento, separadamente, procede-se à sua comparação relacionando as duas variáveis. O CM/kg por forno e tipo de tratamento apresenta-se na Tabela 5.6. Foi também criada uma tabela, com o registo do CM por forno e tipo de tratamento, que pode ser consultada no Anexo C.

Apresentam-se ainda, na Tabela 5.6 as MC/uCarga por forno e tipo de tratamento.

Tabela 5.6: Médias de consumo por kg por tipo de tratamento em cada forno

Tratamento	Consumo médio por unidade de carga em cada forno (kWh/kg)								CM/uCarga (kWh/kg)
	1	2	3	4	5	6	7	9	
AT		0,48	3,37	0,56	0,36	6,07	0,31	0,68	1,54
CM	2,90			0,83					2,81
EN				0,77					0,77
FE			1,44	0,63	0,74		0,73		0,74
HTA		0,97	2,75				0,60		1,77
HT			1,83			1,24	1,34		1,62
HO				0,50					0,50
NR		0,46	0,56	1,18	0,62	0,37	0,57	0,56	0,62
RC		0,45	2,04	1,01	0,60		0,48	1,53	0,69
RV		0,46	2,03	0,68	0,58	7,00	0,29	0,52	1,97
TA		0,54	3,27	0,87	0,59	0,67	0,63	5,76	4,18
TO	3,06	1,35		2,09	1,77		1,12		2,66
TM	0,54				0,57				0,56
Total Geral	3,01	0,66	2,18	0,87	0,69	6,43	0,50	2,61	1,76

Legenda: AT – Alívio de Tensões, C – Cementação, EN – Endurecimento, FE – Ferritização, HTA – Hipertêmpera a água, HT – Hipertêmpera ao ar, HO – Homogeneização, NR – Normalização, RC – Recozimento, RV – Revenido, TA – Têmpera a água, TO – Têmpera a óleo, T – Têmpera ao ar.

A seguinte análise de dado tem como intensão possibilitar a escolha do forno mais adequado quando é sabido o tipo de tratamento a realizar.

Foi feita a representação gráfica das MC/uCarga por forno em cada tipo de tratamento, considerando apenas aqueles que ocorrem, pelo menos, em três fornos diferentes (Figura

5.5): Alívio de Tensões, Ferritização, Normalização, Recozimento, Revenido, Hipertêmpera. As (hiper)temperas a água e óleo não foram consideradas por serem executadas preferencialmente nos fornos com os respectivos tanques de água e óleo.

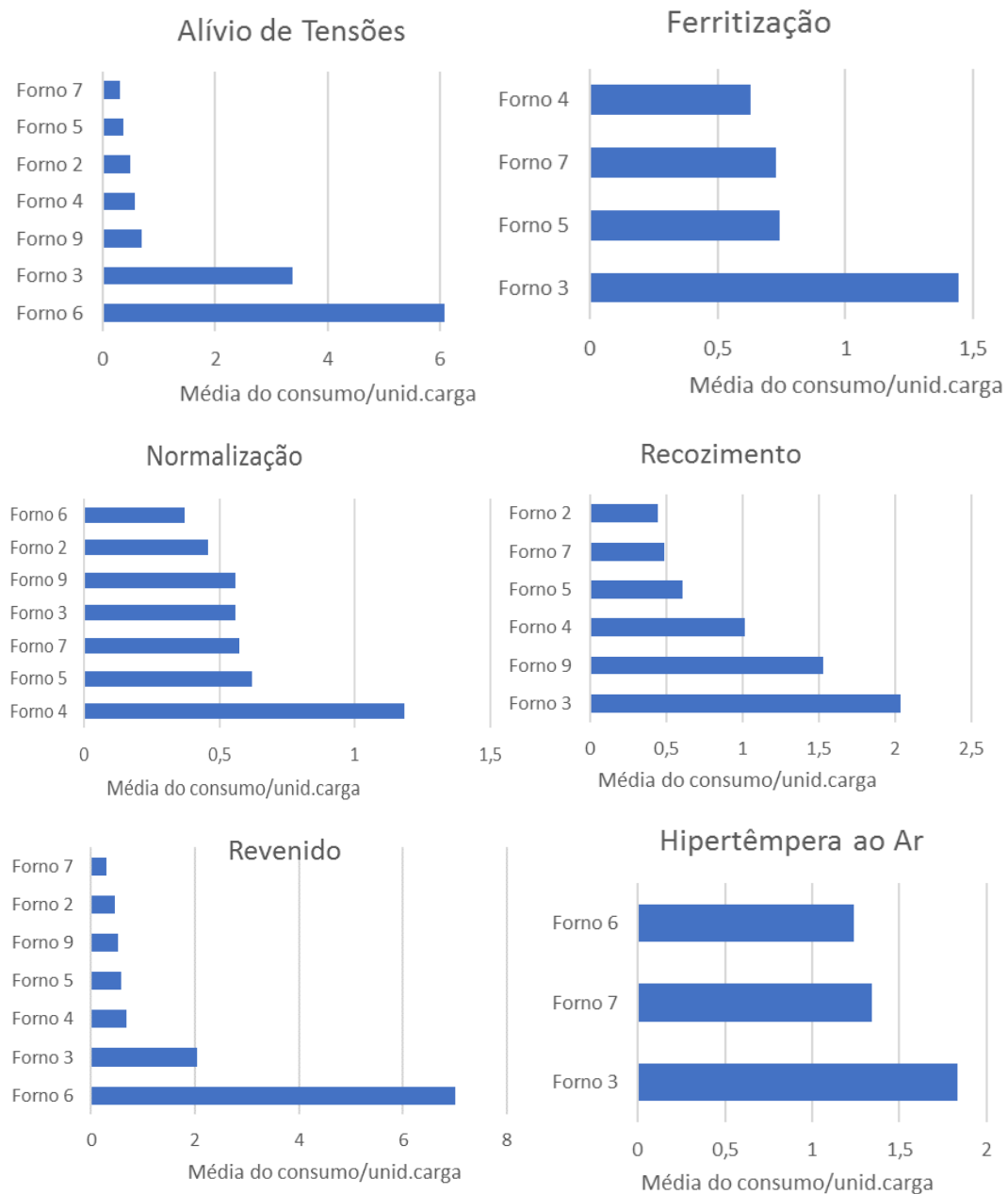


Figura 5.5: Média de consumo por kg por forno para cada tipo de tratamento.

A análise da Figura 5.5 permite identificar os fornos com menor CM/uCarga para os diferentes tipos de tratamento. O forno 7 revelou ter o primeiro ou segundo menor CM/uCarga em todos os tratamentos, com exceção da Normalização. Para a Normalização é o forno 6 que apresenta menor CM/uCarga.

Depois das análises realizadas aos dados relativos à frequência e CM por tipo de tratamento e forno, bem como das CM/uCarga, interessa averiguar a influência que as variáveis carga, duração e temperatura têm no consumo.

Associação entre as variáveis Consumo, Carga e Duração

Procura-se medir o grau de relacionamento entre as variáveis consumo, carga e duração dos tratamentos, que será caracterizado pelo coeficiente de correlação entre cada par de variáveis. Este coeficiente permite afirmar se a relação é fraca ou forte e se é positiva ou negativa, ou seja, se o crescimento dos valores das variáveis é no mesmo sentido ou em sentido contrário, respetivamente.

Os coeficientes de correlação medem a associação entre variáveis sem qualquer implicação de causa efeito entre elas [15]. Para o autor, Maroco, o coeficiente de correlação ρ_S de Spearman, $-1 \leq \rho_S \leq 1$, é uma medida de associação não-paramétrica entre duas variáveis, pelo menos ordinais. Atendendo a que as variáveis podem assumir como níveis de medição, nominal, ordinal, intervalar e de razão, as variáveis carga, duração e consumo são variáveis que podem ser consideradas intervalares, por isso admitem operações numéricas.

“Os coeficientes não-paramétricos não exigem à partida nenhum pressuposto sobre a forma da distribuição das variáveis”, afirma Maroco [15]. A afirmação revela que os coeficientes de correlação podem ser aplicados às variáveis do presente estudo.

Pelo exposto, atendendo à natureza dos dados, a medida de associação entre as variáveis foi obtida através dos coeficientes de correlação de Spearman, com recurso ao programe estatístico SPSS. Os coeficientes de correlação e respetivo nível de significância (probabilidade de erro admitida) são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Medidas de associação entre as variáveis (correlação de Spearman)

Variáveis (a)	Consumo	Carga	Duração	Consumo/kg
Carga	0,791**	1	-	-
Duração	0,631**	0,433**	1	-
Consumo/kg	- 0,019	- 0,556**	0,138**	1
Consumo/h	0,833**	0,705**	0,175**	- 0,85**

**. A correlação é significativa no nível 0,01 (bilateral).

(a) - Cada variável assume 1060 valores, relativos a igual número de tratamentos

Através da análise da Tabela 5.7 infere-se que quanto mais elevada é a carga do tratamento: mais elevado é o seu consumo, maior é a sua duração, maior é o consumo por hora, e menor é o consumo por quilograma; e que quanto maior é a duração do tratamento, maior é o consumo.

A análise da correlação entre variáveis comprova que existe um grau de associação relativamente forte e positivo entre as variáveis carga e consumo, e entre as variáveis duração e consumo. As relações entre as variáveis mencionadas serão analisadas nos tópicos seguintes.

iii. Consumo médio por Carga

Considerando que, em geral, o valor da carga pode variar bastante entre os tratamentos analisados, optou-se por organizar a carga em categorias. Atendendo às capacidades dos fornos, que variam de 450 kg (Forno 1) a 2800 kg (Forno 7), definiram-se quatro categorias em função da carga em kg, designadas por: Carga_Baixa ([0, 700[), Carga_Média ([700, 1400[), Carga_Alta ([1400, 2100[), Carga_Muito_Alta ([2100, 2800]).

Dada a necessidade de utilizar a expressão “intervalo de Carga” recorrentemente, referindo-se às categorias anteriormente mencionadas, esta será substituída por iCarga.

Na Tabela 5.8 apresenta-se a distribuição do CM por intervalo de carga e a sua representação gráfica encontra-se na Figura 5.6.

Tabela 5.8: Consumos médio por intervalos de carga.

Intervalos de Cargas	Número de Tratamentos	Soma Consumos (kWh)	Média Consumos (kWh)
Carga_Baixa	551	124606,62	226,15
Carga_Média	251	123649,24	492,63
Carga_Alta	144	106997,58	743,04
Carga_Muito_Alta	114	92661,59	812,82
Total	1060	447915,03	422,56

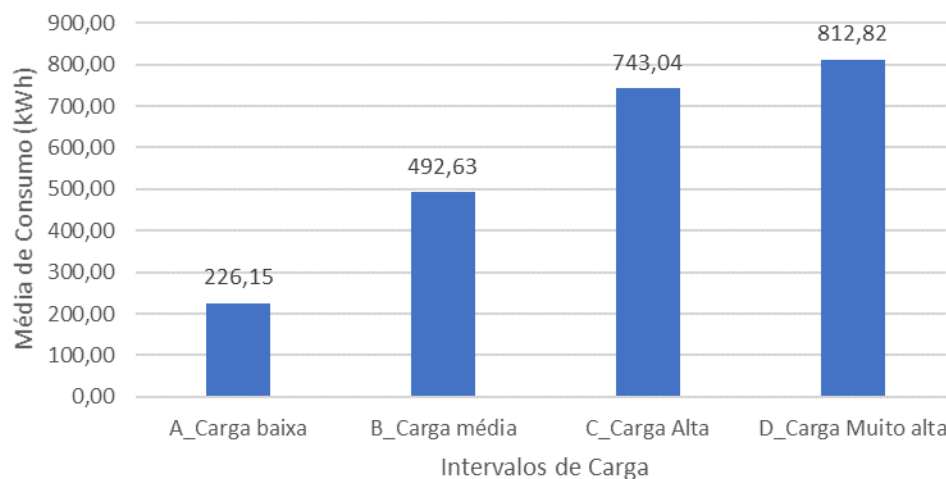


Figura 5.6: Média de consumo por intervalo de carga

De notar que os nomes dos intervalos de carga nos gráficos têm associado um índice alfabético (A, B, C e D) para facilitar a ordenação dos dados e que permite uma leitura mais intuitiva dos mesmos.

Pela observação da Figura 5.6, verifica-se que aos intervalos de carga mais elevada correspondem médias de consumo mais elevadas.

Uma vez que se verificam diferenças entre as médias de consumo por intervalo, sendo importante averiguar se essas diferenças são significativas.

Como, através do teste estatístico de Levene (Homogeneidade de Variâncias) (Anexo D) não foi possível garantir a homogeneidade de variâncias, procurou-se um teste menos exigente em termos de homogeneidade. Como se pretendem comparar médias entre quatro grupos, duas a duas, optou-se por utilizar a comparação múltipla de médias, recorrendo-se à utilização do teste de Tukey, no SPSS. Como salienta Maroco, o teste de Tukey é um dos mais robustos a desvios à normalidade e homogeneidade das variâncias para amostras grandes [15].

Na Tabela 5.9 apresentam-se os resultados da aplicação do teste de Tukey relativos à comparação das médias de consumo por intervalo de carga.

Tabela 5.9: Comparações múltiplas, entre as médias de consumo por intervalo de carga, utilizando o teste Tukey HSD

Intervalos de Carga	Diferença entre as médias (I – J)		
	Carga_Média	Carga_Alta	Carga_Muito_Alta
Carga_Baixa	-267,40800 (*)	-517,76401 (*)	-587,72490 (*)
Carga_Média		-250,35601 (*)	-320,31690 (*)
Carga_Alta			-69,9609

*. A diferença entre as médias é significativa ao nível 0,05.

I – Intervalos representados em linha; J – Intervalos representados em coluna

Pela observação da Tabela 5.9 constata-se que, com exceção da diferença entre as médias de consumo dos intervalos de carga_alta e carga_muito_alta, todas as outras diferenças são significativas, com um nível de significância inferior a 0,05. Assim, pode concluir-se que há diferenças significativas entre os CM dos intervalos: carga_baixa e carga_média; carga_baixa e carga_alta; carga_baixa e carga_muito_alta; carga_média e carga_alta; carga_média e carga_muito_alta.

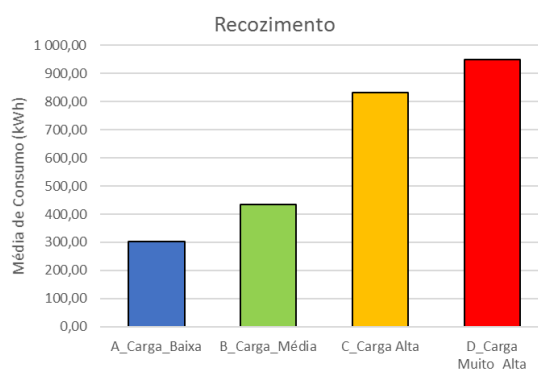
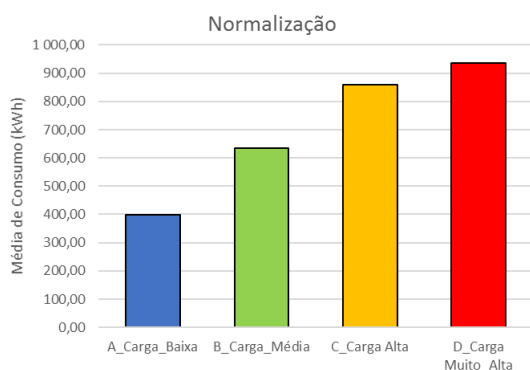
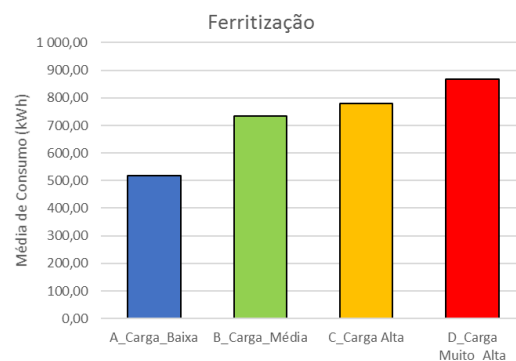
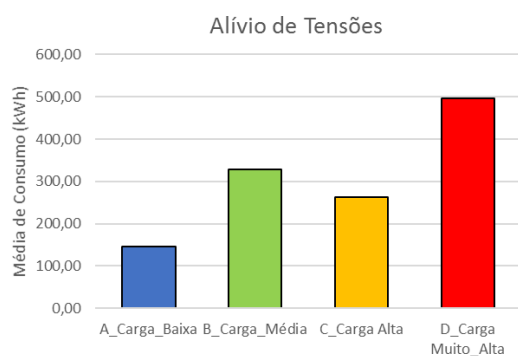
Consumo médio por Carga e Tipo de Tratamento

Depois da análise global dos dados sobre as médias de consumo em função dos intervalos de carga, procurou-se averiguar esta tendência relativa a cada tipo de tratamento. Os dados relativos à média de consumo para cada intervalo de carga e tipo de tratamento realizados na TRATERME encontram-se registados na Tabela 5.10.

Foi feita a representação gráfica dos dados, por tipo de tratamento, considerando apenas aqueles que ocorrem, pelo menos, em três intervalos diferentes de carga (Figura 5.7): Alívio de Tensões, Ferritização, Normalização, Recozimento, Revenido, Têmpera a água e ar.

Tabela 5.10: Médias de consumos por intervalos de carga e tipo de tratamentos.

Tratamentos	Média de Consumo (kWh) por Intervalos de Carga				
	Carga_Baixa	Carga_Média	Carga_Alta	Carga_Muito_Alta	Média de Consumo
AT	146,12	328,93	262,83	495,97	253,28
CM	309,93				309,93
EN	244,99				244,99
FE	518,07	734,64	780,53	867,72	722,29
HTA	276,25			1 360,33	547,27
HT	464,70				464,70
HO	166,36				166,36
NR	399,31	633,20	858,58	935,64	759,94
RC	303,12	435,20	832,22	950,84	669,09
RV	122,87	305,69	416,56	457,80	212,27
TA	300,76	556,45	654,52		473,75
TO	271,87	478,28			276,88
TM	161,86	693,03	638,03		506,81
Total Geral	226,15	492,63	743,04	812,82	422,56



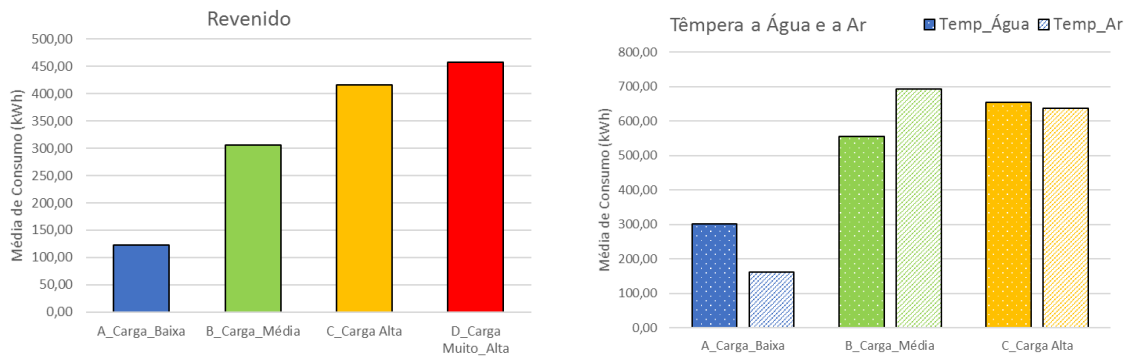


Figura 5.7: Médias de consumos por intervalos de carga para cada tipo de tratamento.

A análise da Figura 5.7 permite concluir que, com exceção do Alívio de Tensões, nos tipos de tratamento analisados a média de consumo aumenta com o aumento da carga. Relativamente ao Alívio de Tensões, a média de consumos para Carga_Alta representa um valor inferior à média de consumos para Carga_Média.

Consumo médio por Carga e Forno

O problema que agora se coloca é saber se a tendência das médias de consumo em função dos intervalos de carga também se verifica para cada um dos fornos. O registo do CM por forno e iCarga vem na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Média de consumos por forno e por intervalo de carga

Fornos Intervalos de carga	Consumo médio por carga e forno (kWh)								CM (kWh)
	1	2	3	4	5	6	7	9	
Carga_Baixa	243,49	279,68	122,87	228,44	367,04	45,27	319,19	290,87	226,15
Carga_Média	168,93	338,86	-	490,11	576,44	489,90	536,49	481,06	492,63
Carga_Alta	-	611,88	788,34	1698,47	780,35	-	742,55	639,06	743,04
Carga_Muito_Alta	-	785,38	930,32	804,86	890,58	845,01	773,72	921,46	812,82
Total	242,65	345,36	206,85	355,81	616,04	64,24	631,20	452,44	422,56

Os dados da Tabela 5.12 são representados graficamente na Figura 5.8, organizados por intervalos de carga, ordenados de forma crescente por média de consumo por

forno. Em cada um dos gráficos encontra-se a representação do CM geral desse intervalo de carga, através de uma linha horizontal.

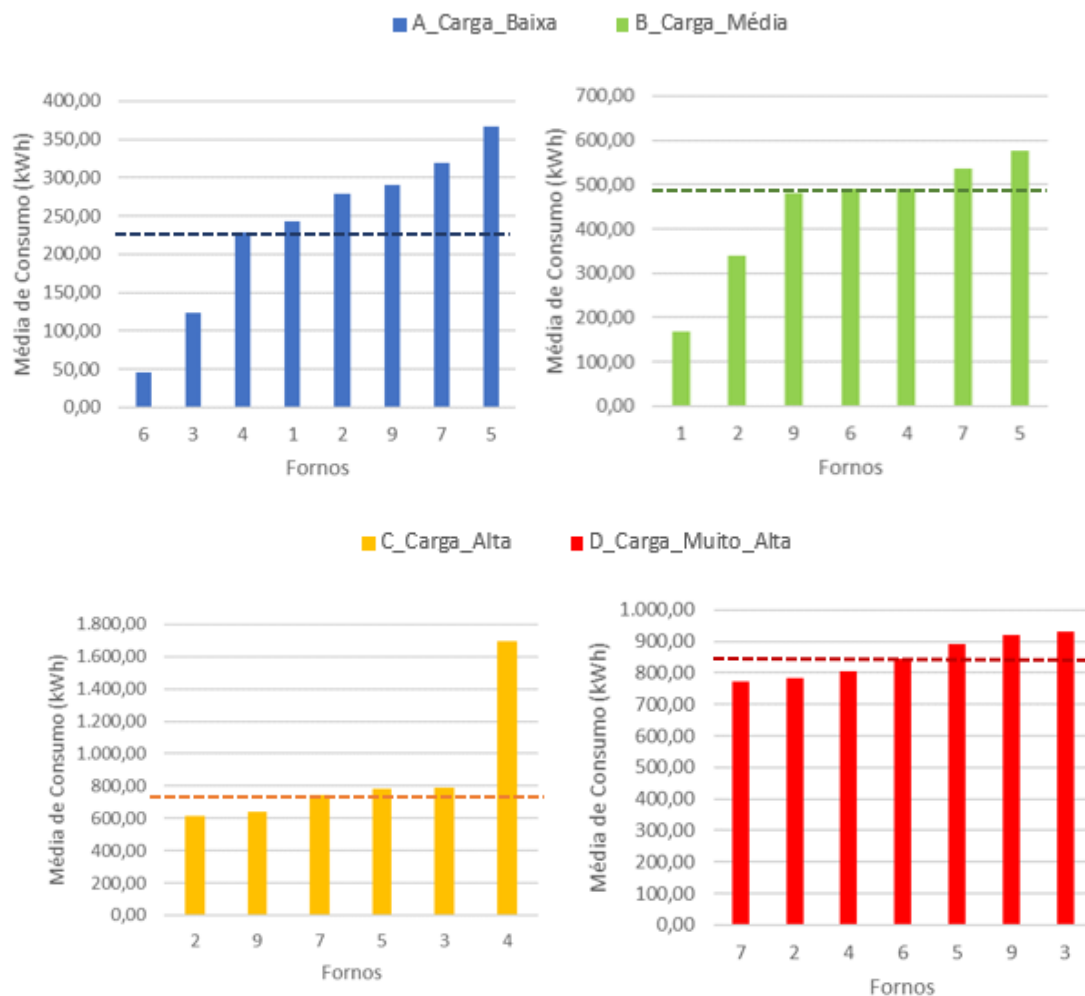


Figura 5.8: Consumo médio por forno por intervalo de carga.

Da observação da Figura 5.8 relativamente aos tratamentos em carga_baixa, que acontecem em todos os fornos, o CM mais baixo corresponde ao forno 6 e o CM maior está associada ao forno 5. Verifica-se uma grande diferença entre estes valores, uma vez que ambos se afastam bastante da média encontrada para o intervalo carga_baixa.

Relativamente ao intervalo carga_média, embora não tenham sido efetuados tratamentos no forno 3, salienta-se que o valor mínimo da média de consumo está associado ao forno 1 e o valor máximo ao forno 5.

Em suma: para carga_baixa - os fornos que apresentam CM abaixo da média de consumo global nesse intervalo (linha horizontal), são o forno 6 e o forno 3; para a carga média - pela mesma abordagem, os fornos 1 e 2 apresentam as menores médias de consumo; para carga_alta - pela mesma abordagem, os fornos 2 e 9 apresentam as

menores médias de consumo, salientando-se que apenas o forno 4 apresenta uma média de consumo acima da linha horizontal, para carga_muito_alta - todos os fornos apresentam médias de consumo idênticas.

Pode ainda concluir-se que o forno 2 se revela uma boa escolha para cargas superiores a 700 kg (maior ou igual a carga_média); para carga_baixa são os fornos 6 e forno 3 as opções mais favoráveis.

Do exposto, e tendo em conta que quanto menor for o CM por carga, maior vantagem há para a empresa, sugere-se que, depois de escolhida a carga, se possa escolher o forno mais indicado, baseado na análise e conclusões retiradas anteriormente.

Continuando a explorar relações entre variáveis que podem influenciar o consumo energética, segue-se a análise da relação entre a duração do tratamento e o respetivo consumo energético.

iv. Consumo médio por Duração

Como a duração dos tratamentos em estudo varia de 0,42 h a 27,83 horas, ou seja, a amplitude de durações é de aproximadamente 28 horas, optou-se por considerar 14 intervalos de tempo, cada um de duas horas: [0, 2[, [2, 4[, [4, 6[, [6, 8[, [8, 10[, [10, 12[, [12, 14[, [14, 16[, [16, 18[, [18, 20[, [20, 22[, [22, 24[, [24, 26[, [26, 28].

Com estes intervalos é possível comparar mais facilmente médias de consumo, quer por forno quer por tratamento. A distribuição dos tratamentos em função da categorização referida é apresentada na Tabela 5.12 e a sua representação gráfica apresenta-se na Figura 5.9.

Da observação da Figura 5.9 deduz-se que a duração dos tratamentos tem forte influência nas médias de consumo. Constata-se que, de um modo geral, quanto maior é a duração do tratamento maior é a média de consumo. Com exceção do intervalo [12, 14[e dos intervalos [16, 18[e [18, 20[, nos quais se verifica que o CM é inferior ao CM do intervalo que os antecede.

Tabela 5.12: Distribuição dos tratamentos pelos intervalos de duração

Intervalos de duração (h)	Número de Tratamentos	Soma dos Consumos (kWh)	Média Consumos (kWh)
[0, 2[	42	800,77	19,07
[2, 4[	46	4379,33	95,20
[4, 6[	70	13069,33	186,70
[6, 8[	240	64724,53	269,69
[8, 10[	229	104908	458,11
[10, 12[	158	88306,19	558,90
[12, 14[	109	60643,86	556,37
[14, 16[	57	36945,44	648,17
[16, 18[	33	21996,34	666,56
[18, 20[	19	10431,39	549,02
[20, 22[	17	10007,26	588,66
[22, 24[	19	13240,61	696,87
[24, 26[	17	14174,87	833,82
[26, 28[	4	4287,11	1071,78
Total	1060	447915,03	422,56

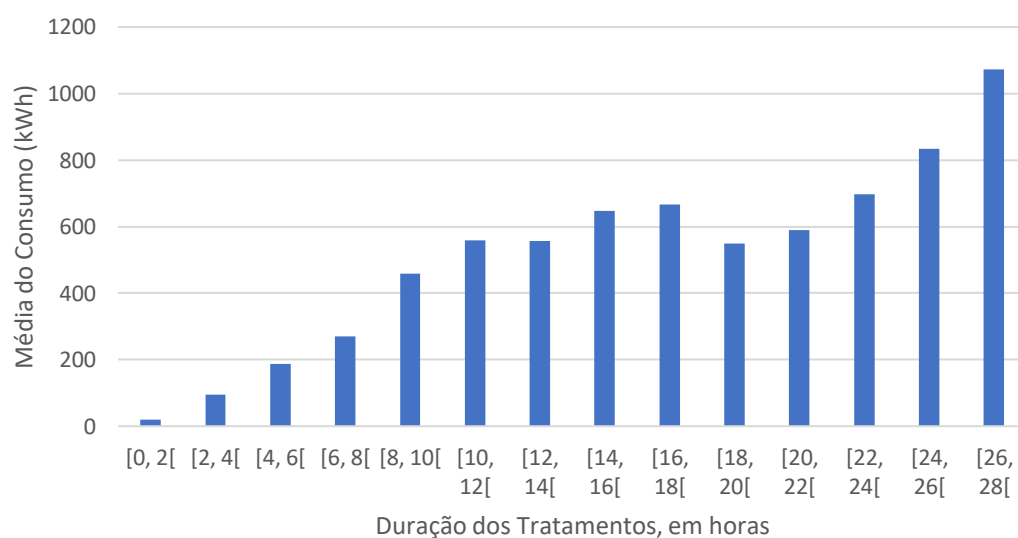


Figura 5.9: Distribuição das médias de consumo pelos intervalos de duração dos tratamentos.

Para possibilitar uma análise mais clara sobre a influência da duração no consumo por forno, criaram-se intervalos de duração mais abrangentes do que os anteriores. Os novos intervalos são: [0, 6[, [6, 12[, [12, 18[, [18, 24[, [24, 28].

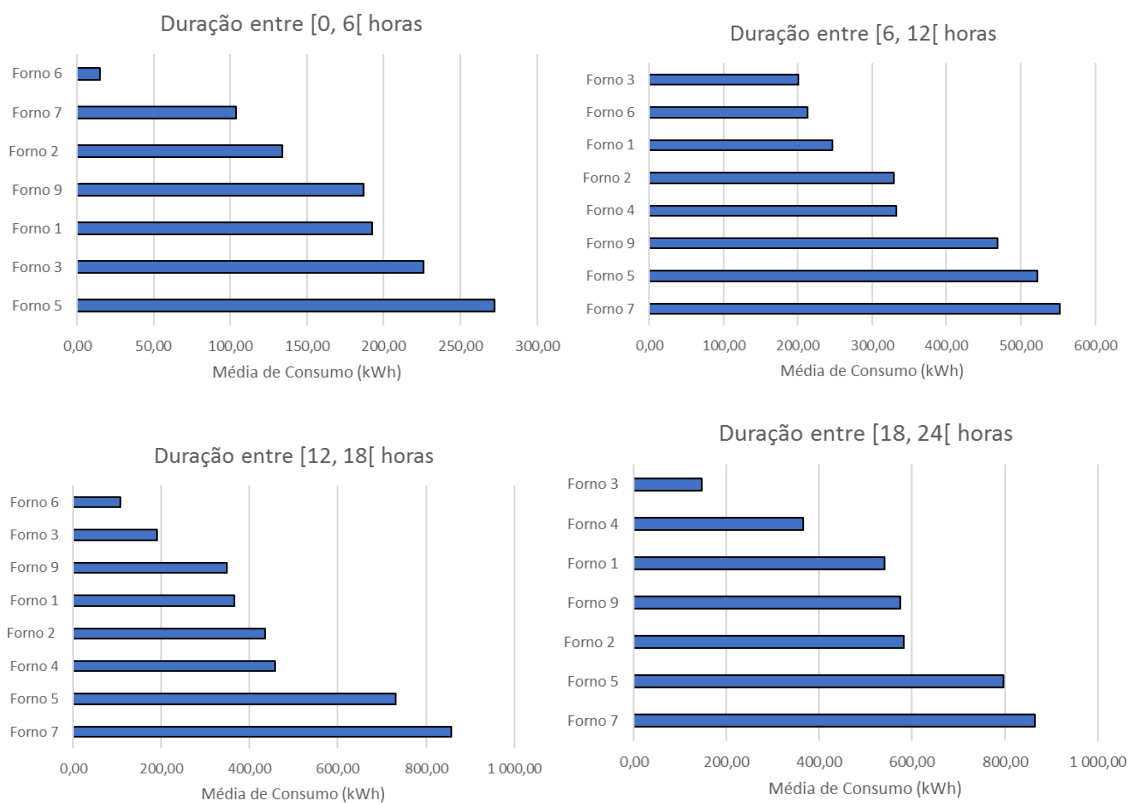
Consumo médio por Duração e Forno

Será agora realizada uma análise à influência da duração na média de consumo por forno. As médias de consumo por intervalo de duração e forno estão registados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13: Consumo médio por duração e forno.

Intervalos de Duração (h)	Consumo média por Duração e Fornos (kWh)								Média de consumo (kWh)
	1	2	3	4	5	6	7	9	
[0, 6[	192,70	133,85	226,06		272,30	15,04	103,65	187,11	115,50
[6, 12[	246,26	328,71	200,85	332,93	521,77	213,60	552,96	468,77	411,39
[12, 18[	365,67	434,25	189,39	456,95	730,23	107,52	856,90	348,52	600,93
[18, 24[	539,88	581,39	146,16	365,42	797,31		865,08	574,37	612,35
[24, 28[	295,71	542,65	875,98		970,51		987,28		879,14
Total	242,65	345,36	206,85	355,81	616,04	64,24	631,20	452,44	422,56

Apresenta-se agora uma representação gráfica do CM por forno e intervalo de duração (Figura 5.10), onde se apresentam os fornos ordenados de forma crescente de média de consumo.



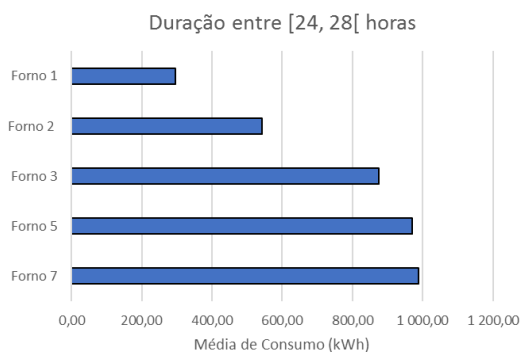


Figura 5.10: Média de consumos por forno em cada intervalo de temperatura máxima.

A análise da Figura 5.10 permite criar indicadores para a escolha do forno em função da duração do tratamento. Constata-se pela observação das representações gráficas que: para tratamentos cuja duração se encontra no intervalo $[0, 6[$ horas, o forno que apresenta menor média de consumo é o forno 6, com uma diferença elevada em relação à do forno seguinte, o forno 7; para tratamentos com duração nos intervalos $[6, 12[$ e $[12, 18[$ horas, os fornos que apresentam MC menos são o forno 6 e o forno 3; com duração entre $[18, 24[$, o forno que apresenta MC menor é o forno 3; por fim, para tratamentos com duração superior a 24h, o forno 1 representa menor média de consumo.

Deve notar-se que, na maioria dos intervalos de duração, os fornos 3 e 6 se revelam uma boa opção. Em contrapartida, atendendo aos fornos com CM maior, e por isso desfavoráveis, encontram-se os fornos 7 e 5 na globalidade dos intervalos.

Consumo médio por Duração e Carga

Em seguida analisa-se o CM em função da duração e da carga dos tratamentos, cujo registo de encontra na Tabela 5.14 e a respetiva representação gráfica na Figura 5.11.

Tabela 5.14: Média de consumo por intervalos de duração e carga.

Intervalos de Duração (h)	Média de consumo por Carga (kWh)				Média de consumo (kWh)
	Carga_Baixa	Carga_Média	Carga_Alta	Carga_Muito_Alta	
[0, 6[	104,27	303,41	291,67	695,51	115,50
[6, 12[	252,11	447,26	669,35	706,19	411,39
[12, 18[	342,36	630,31	882,74	939,20	600,93
[18, 24[	289,59	598,80	837,17	884,00	612,35
[24, 28[	241,84	547,91	893,17	1 016,20	879,14
Total	226,15	492,63	743,04	812,82	422,56

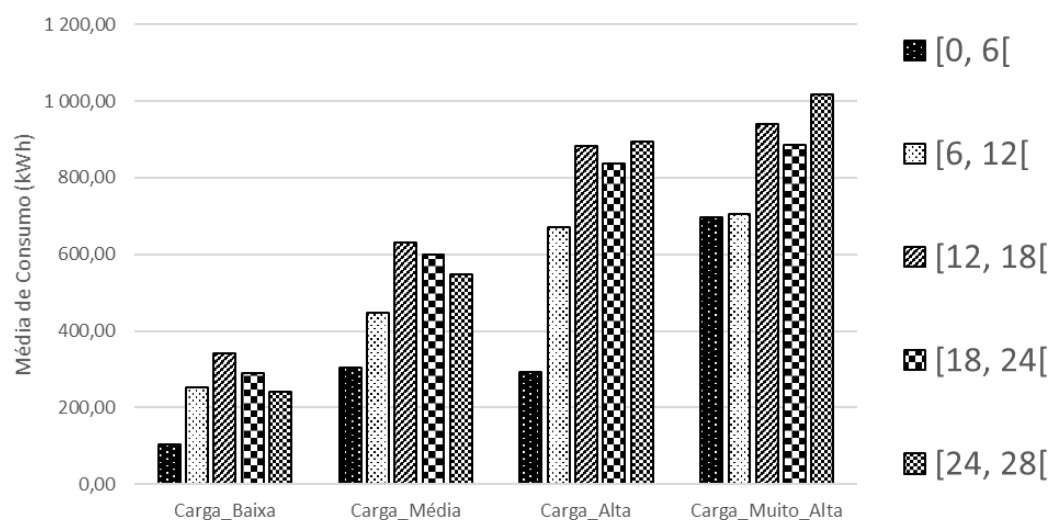


Figura 5.11: Consumo médio por carga e duração.

As análises realizadas permitem obter indicadores para a escolha da carga quando se conhece a duração do tratamento. Consta-se pela observação da Figura 5.11 que: para tratamentos com duração igual ou superior a 6 horas, o CM cresce com o aumento da carga; para tratamentos com duração inferior a 6 horas, tal não se verifica, pois a média de consumo para a carga_alta é inferior à média de consumo para a carga_média.

Numa outra perspetiva, observa-se: para os intervalos de carga_baixa e carga_média um pico de consumo nos tratamentos com duração entre 6 e 12 horas; para carga_alta e carga_muito_alta, os tratamentos com duração superior a 24 horas apresentam valores de CM mais elevados do que para o intervalo anteriormente referido ([6, 12[).

Após se verificar a existência de algumas diferenças no consumo, importa agora saber se essas diferenças são significativas.

Para verificar se existiam diferenças significativas entre médias de consumo em função da duração, utilizou-se o SPSS, para a realização de comparações múltiplas, recorrendo ao teste estatístico de Tukey HSD (Anexo E). Atendendo ao elevado número de intervalos e aos elevados valores resultantes do cálculo da diferença entre cada par de médias, apresenta-se uma síntese, na Tabela 5.15, na qual se assinalam as diferenças que são significativas com um nível de significância inferior a 0,05 e aquelas onde tal não se verifica.

Tabela 5.15: Registo da significância das comparações múltiplas entre as médias de consumo por duração dos tratamentos utilizando o teste Tukey HSD.

Intervalos	Significância na diferença entre as médias dos consumos por duração de tratamento (I – J)												
Duração	[0, 2[	[2, 4[	[4, 6[	[6, 8[	[8, 10[	[10, 12[	[12, 14[	[14, 16[	[16, 18[	[18, 20[	[20, 22[	[22, 24[	[24, 26[
[2, 4[	N/S												
[4, 6[	*	N/S											
[6, 8[	*	N/S	N/S										
[8, 10[*	*	*	*									
[10, 12[	*	*	*	*	N/S								
[12, 14[	*	*	*	*	N/S	N/S							
[14, 16[	*	*	*	*	N/S	N/S	N/S						
[16, 18[	*	*	*	*	N/S	N/S	N/S	N/S					
[18, 20[	*	*	*	*	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S				
[20, 22[	*	*	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S			
[22, 24[	*	*	*	*	*	*	*	*	N/S	*	*		
[24, 26[	*	*	*	*	*	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	
[26, 28[	*	*	*	*	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S

* A diferença entre as médias é significativa a um nível de significância inferior a 0,05.

NS - A diferença entre as médias não é significativa a um nível de significância inferior a 0,05

I – Intervalos representados em linha; J – Intervalos representados em coluna.

Os símbolos apresentados na Tabela 5.15 permitem, sempre que necessário, identificar se as diferenças entre médias de consumo de pares de intervalos de duração, em horas, são ou não significativas.

Continuando a explorar relações entre o efeito de variáveis no consumo, segue-se a análise das relações das temperaturas máximas dos tratamentos com o consumo energético.

v. Consumo médio por Temperatura Máxima

Para analisar a influência da variável Temperatura Máxima (TMax) no consumo dos tratamentos, revela-se adequado definir intervalos de TMax (iTMax). Foram utilizados os intervalos definidos no Capítulo 4: [0, 500[, [500, 900[e [900, 1100] em °C.

Relacionou-se o número de tratamentos com a média de consumo em cada um desses intervalos, conforme se apresenta na Tabela 5.16.

Tabela 5.16: Distribuição das médias de consumo por intervalo de temperatura máxima e tratamento.

Intervalos de temperaturas máximas (°C)	Número de tratamentos	Soma de Consumos (kWh)	Médias de Consumo (kWh)
[0, 500[	170	41 693,27	245,25
[500, 900[	338	123 869,25	366,48
[900, 1100]	436	228 852,55	524,89
Total Geral	944	394 415,07	417,81

Dos 1060 tratamentos que foram objeto de análise neste estudo, apenas em 944 desses eram referidos os valores da variável temperatura máxima, pelo que os resultados relativos à relação da temperatura com as restantes variáveis referem-se apenas a estes 944 registos.

Da análise dos dados da Tabela 5.16 conclui-se que quanto mais elevada é a temperatura máxima, mais elevada é a média de consumo.

Consumo médio por Temperatura Máxima e Forno

Interessa apreciar o que acontece com o CM em cada forno tendo em conta os três intervalos de TMax definidos (Tabela 5.17).

Tabela 5.17: Médias de consumo por intervalo de temperatura máxima e forno.

Forno	Consumo médio por iTMax e Forno (kWh)			Total Geral
	[0, 500[	[500, 900[	[900, 1100]	
1		247,55	241,35	242,65
2	259,49	324,84	455,46	344,13
3	108,02	92,53	332,46	178,61
4	219,62	233,85	585,67	348,09
5	605,17	557,96	715,93	645,45
6	20,36	48,06	565,15	64,24
7	390,39	560,90	765,63	624,51
9	300,60	271,67	604,04	452,30
Total Geral	245,25	366,48	524,89	417,81

Pela análise da Figura 5.12, facilmente se observa que nos intervalos de temperatura máxima [0, 500[e [500, 900[, os fornos que apresenta MC mais baixa é o forno 6 e o forno 3, no intervalo [900, 1100] o CM menor é verificada no forno 1 e no forno 7. Verificou-se ainda que para todas as gamas de TMax os fornos 5 e 7 revelam a MC mais elevada.

A representação gráfica dos dados apresenta-se na Figura 5.13.

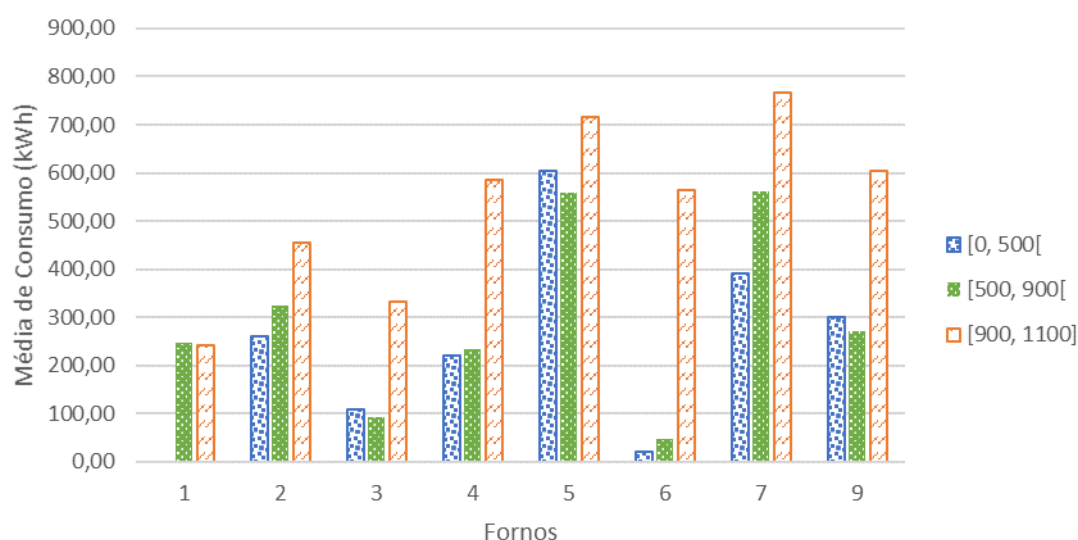


Figura 5.12: Média de consumo por temperatura máxima e forno.

Em suma, atendendo aos intervalos de temperatura definidos, constata-se que os fornos com menor média de consumo são os fornos 6 e 3, e por isso preferenciada a sua escolha, e os de média de consumo mais elevada são os fornos 5 e 7 que devem ser evitados, segundo esta análise.

Consumo médio por Temperatura Máxima e Carga

Outro aspeto importante é saber qual a influência da temperatura máxima nas médias de consumo dos tratamentos em cada intervalo de carga. Na Tabela 5.18 apresentam-se as médias de consumo em função da TMax e carga, considerando os respetivos intervalos.

Tabela 5.18: Médias de consumo por intervalos de temperatura e intervalos de carga

Intervalos de TMax	Médias de consumo nos intervalos de carga (kWh)				CM por TMax
	Carga_baixa	Carga_média	Carga_alta	Carga_muito_alta	
[0, 500[	91,82	357,76	818,29	709,46	245,25
[500, 900[	223,50	429,83	557,26	664,59	366,48
[900, 1100]	278,96	603,98	844,96	968,25	524,89
Total	217,11	502,10	752,14	815,60	417,81

Os dados da Tabela 5.18 foram representados graficamente para mais facilmente se obterem conclusões. Começa-se por analisar os dados referentes aos intervalos [500, 900[e [900, 1100] representando-se na Figura 5.13, e posteriormente tratam-se os dados relativos ao intervalo [0, 500[.

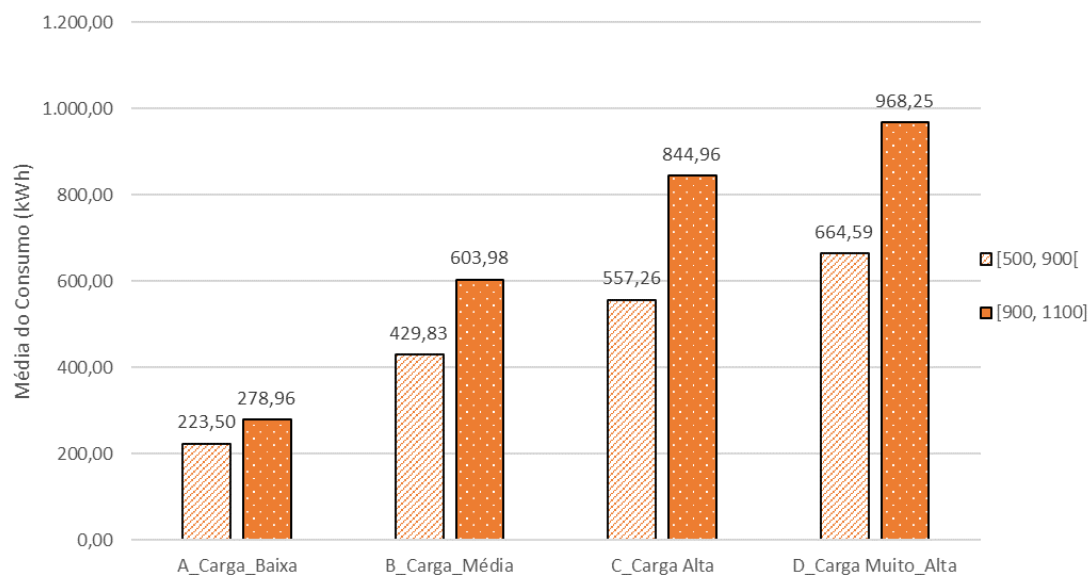


Figura 5.13: Médias de consumo por intervalos de carga para TMax igual ou superior a 500°C.

Pela análise da Figura 5.13, constata-se que para tratamentos cuja temperatura máxima é igual ou superior a 500°C, a média do consumo aumenta no mesmo sentido do que aumenta a carga.

Contudo, nos tratamentos cuja temperatura máxima é inferior a 500°C o mesmo não se pode afirmar. Relativamente ao intervalo $[0, 500[$, as médias de consumo em função da TMax e da carga são representadas graficamente na Figura 5.14.

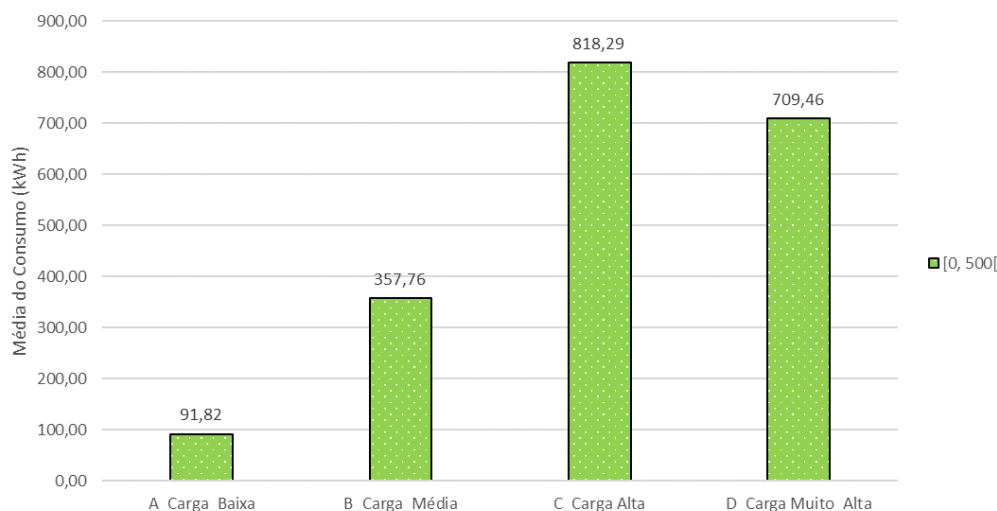


Figura 5.14: Médias de consumo por intervalos de carga para TMax inferior a 500°C.

Verifica-se pela análise da Figura 5.14 que, quando a temperatura máxima é inferior a 500°C, a média de consumo associada a tratamentos de carga_muito_alta diminui relativamente à média de consumo para carga_alta, contrariando a tendência que acontece quando a temperatura máxima dos tratamentos é igual ou superior a 500°C.

Conclui-se, assim, que para tratamentos com uma TMax inferior a 500°C, a média de consumo para carga_alta é mais elevada do que para carga_muito_alta; e que para tratamentos com TMax igual ou superior a 500°C a média de consumo aumenta no mesmo sentido do aumento da carga.

Atendendo que as médias de consumo variam entre os intervalos de TMax decidiu-se averiguar se a diferença entre essas médias é significativa. Seguindo processos análogos aos verificados anteriormente, recorrendo à utilização do SPSS, procedeu-se a comparações múltiplas, utilizando o teste estatístico de Tukey HSD, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.19.

Tabela 5.19: Comparações múltiplas entre as médias de consumo por intervalo de temperatura máxima, utilizando o teste Tukey HSD.

Intervalos de TMax	Diferença entre as médias (I – J)	
	[500, 900 [	[900, 1100]
[0, 500[	-120,96546*	279,41492*
[500, 900[		-158,44946*

*. A diferença entre as médias é significativa ao nível 0,05.

I – Intervalos representado em linha; J – Intervalos representado em coluna

Pela observação da Tabela 5.19, constata-se que a diferença entre cada par de médias de consumo, relativas aos respectivos intervalos de temperatura máxima, é significativa em todos os casos, com um nível de significância inferior a 0,05. Neste sentido, e atendendo ao teste estatístico utilizado, pode concluir que há diferenças significativas entre o CM/iTMax para todos os pares de iTMax. Tal vem validada as conclusões retiradas anteriormente referentes à relação da temperatura máxima com o consumo médio dos tratamentos.

5.1.2 Análise de casos particulares

Após analisar a influência, individual e múltipla, das variáveis no consumo energético, foram escolhidos 12 tratamentos, com características semelhantes, com a finalidade de comparar consumos e verificar as conclusões retiradas até então. Os tratamentos escolhidos foram realizados nos fornos 2, 5 e 7; têm temperatura máxima entre [530, 670] °C e duração entre [6, 14] horas. A carga foi variável.

Analisou-se o CM e CM/uCarga dos tratamentos referidos, cujos dados obtidos estão registados na Tabela 5.20, ordenados de forma crescente pela carga.

Tabela 5.20: Registo dos tratamentos seleccionados.

ID	Forno	Carga (kg)	Tmáx (°C)	Duração (h)	Consumo (kWh)	MC/uCarga (kWh/kg)
1	2	504	650	8,75	214,17	0,42
2	2	592	600	6,25	193,23	0,33
3	7	798	530	9,2	291,73	0,37
4	7	1005	580	10,5	348,4	0,35
5	5	1136	650	8,42	291,9	0,26
6	2	1176	620	7,17	328,48	0,28
7	2	1400	650	8,83	310,69	0,22
8	7	1596	580	11,77	312,59	0,20
9	5	1920	650	9,25	353,68	0,18
10	2	2152	650	8,5	414,76	0,19
11	7	2574	650	7,5	369,6	0,14
12	5	2780	670	13,92	708,1	0,25

Os dados referentes à Carga e à MC/uCarga da Tabela 5.20 foram representados graficamente na Figura 5.15.

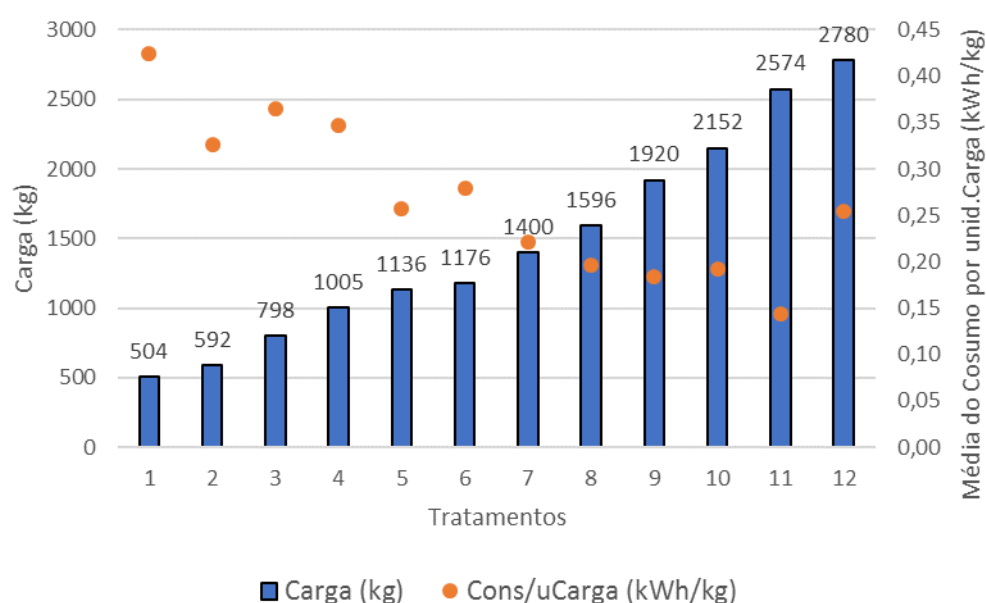


Figura 5.15: Carga e MC/uCarga dos tratamentos seleccionados.

Pela análise dos dados da Figura 5.15 constata-se que com o aumento da carga dos tratamentos, a MC/uCarga tem tendência a diminuir.

As MC/uCarga por forno foram agrupadas na Tabela 5.21.

Tabela 5.21: Média de consumo por uCarga dos tratamentos selecionados.

ID	Carga (kg)	Consumo/uCarga pelos Fornos (kWh/kg)		
		5	7	2
1	504			0,424940476
2	592			0,326402027
3	798		0,365576441	
4	1005		0,346666667	
5	1136	0,256954225		
6	1176			0,279319728
7	1400			0,221921429
8	1596		0,195858396	
9	1920	0,184208333		
10	2152			0,192732342
11	2574		0,143589744	
12	2780	0,25471223		
	Média Cons/uCarga (kWh/kg)	0,695874789	1,051691247	1,445316002

Pela análise dos dados da Figura 5.15 verifica-se que a ordenação dos fornos pela menor MC/uCarga é forno 5, forno 7 e forno 2. Pode inferir-se que os fornos serão economicamente mais favoráveis seguindo a mesma ordem.

5.1.3 Conclusões

No âmbito da Gestão de tratamentos na TRATERME, devem ser considerados os seguintes indicadores resultantes do estudo realizado, referente às relações entre as variáveis que influenciam o consumo energético. As conclusões retiradas são agora agrupadas de forma orientada para a escolha da carga dos tratamentos e para a escolha do forno.

Conclusões relativas à escolha da Carga

Da análise da correlação entre variáveis comprova-se que a cargas mais elevadas correspondem CM/kg menores; quanto mais elevada for a carga (kg) do tratamento, mais elevado é o CM, maior é a duração e maior é o consumo por hora. Verificou-se ainda que quanto maior é a duração (h) do tratamento maior é o consumo energético;

Relativamente ao Tipo de Tratamento:

No caso do Alívio de Tensões é preferencial a escolha de cargas altas do que de cargas médias, sendo que para os restantes tipos de tratamentos analisados (Ferritização,

Normalização, Recozimento, Revenido e Têmpera a Água e a Ar), o consumo médio aumenta com o aumento da carga.

Relativamente à Duração dos tratamentos:

Quando a duração do tratamento é igual ou superior a 6 horas, o consumo médio revela-se maior quanto maior for a carga; contudo, quando a duração é inferior a 6 horas, é preferível escolher carga_alta do que carga_média.

Relativamente à Temperatura Máxima dos tratamentos:

Para um TMax igual ou superior a 500 °C, com o aumento da temperatura máxima a média do consumo aumenta; contudo para um TMax inferior a 500 °C, a média de consumo para carga_muito_alta representar um valor mais baixo do que para carga_alta.

Conclusões relativas à escolha do Forno

Após ser escolhida a carga do tratamento, pode-se escolher o forno mais adequado para realizar o tratamento.

Os fornos que apresentam média de consumo abaixo da média de consumo no intervalo de carga respectivo são: carga_baixa - fornos 6 e 3; carga_média - fornos 1 e 2; carga_alta - fornos 2 e 9; carga_muito_alta – fornos 7 e 2. Revelaram-se fornos menos vantajosos: para carga_baixa o forno 5; para carga_alta o forno 4.

Relativamente à Duração dos tratamentos:

Verificou-se para cada intervalo de duração qual o forno com menor média de consumo:

- Durações entre [0, 6[horas: forno 6, seguido do forno 7;
- Durações entre [6, 12[horas: forno 3 e forno 6;
- Durações entre [12, 18[horas: forno 6 e forno 3;
- Durações entre [18, 24[: forno 3;
- Durações iguais ou superiores a 24 horas: forno 1.

Deve-se notar que para tratamentos com duração é inferior 24 horas, os fornos escolhidos maior número de vezes (por revelarem média baixa de consumo) foram os fornos 3 e 6.

Relativamente à Temperatura Máxima dos tratamentos:

Os fornos com menor média de consumo são os fornos 6 e 3, induzindo à sua preferência, e os fornos de média de consumo mais elevada são o 5 e o 7, que devem ser evitados.

5.2 Faturação de Eletricidade e Diagrama de Cargas da TRATERME

Uma das medidas que pode contribuir para reduzir a fatura energética tem a ver com uma possível alteração do contrato de fornecimento de eletricidade da empresa TRATERME. Nesse sentido, foi analisado o contrato de fornecimento de energia em vigor na empresa, assim como diferentes opções tarifárias que a atual comercializadora de energia disponibiliza (GALP Energia).

Do total de energia ativa consumida na empresa, em média, 94,31% correspondem ao funcionamento dos fornos da TRATERME. Tal é comprovado pelo cálculo da diferença entre o consumo registado nas faturas energéticas e o consumo resultante da soma dos consumos registados nos contadores de energia dos fornos. Os dados analisados, referentes ao ano de 2016, apresentam-se na Tabela 5.22.

Tabela 5.22: Consumo energético dos fornos no ano 2016.

2016	Consumo Faturado kWh	Consumo Dos Fornos kWh	Consumo dos Fornos (%)
Janeiro	73355	61272,67	83,53%
Fevereiro	86166	76541,81	88,83%
Março	98804	88979	90,06%
Abril	86506	84537,22	97,72%
Maio	72219	69322,67	95,99%
Junho	70325	67255,59	95,64%
Julho	70583	68742,67	97,39%
Agosto	45567	44014,37	96,59%
Setembro	94262	90542,87	96,05%
Outubro	76804	75122,9	97,81%
Novembro	78061	75127,6	96,24%
Dezembro	50344	48253,42	95,85%
Total	902996	849712,79	-
Média dos consumos			94,31%

Da observação da Tabela 5.22, constata-se que a percentagem de consumo energético dos fornos relativamente ao consumo total, varia de mês para mês, atingindo o valor mínimo no mês de janeiro (83,53%) e o máximo no mês de outubro (97,81%), sendo a percentagem média relativa ao consumo total da empresa de 94,31%.

5.2.1 Avaliação do contrato de fornecimento de energia

No mercado energético existem vários comercializadores de energia que oferecem opções tarifárias diversas, com preços variáveis, como é normal quando impera a lei do mercado. A análise dessas opções e respetivos preços, pode justificar, ou não, o interesse em alterar o contrato atualmente em vigor.

A GALP Energia oferece duas opções tarifárias, que se diferenciam na distribuição dos períodos horários. Estes são denominados de “Tarifário Normal” (TN) e “Tarifário Opcional” (TO), estando este último apenas disponível para clientes em MT. Assim, é importante realizar uma comparação entre as duas opções de modo a verificar qual delas traz maiores vantagens económicas para a empresa.

A alteração na distribuição dos períodos horários afeta apenas os custos associados ao consumo de energia ativa, ficando de fora os custos com o consumo de energia reativa. Para realizar a comparação referida, foram usados os consumos do mês de fevereiro de 2017, sendo que a empresa contrata o “Tarifário Normal” nesse período.

Com base nesses consumos foi feita uma desagregação por períodos horários (super vazio, vazio, cheia e ponta) para o TN e para o TO. O resultado desta análise pode ser consultado na Tabela 5.23.

Tabela 5.23: Consumo de energia ativa por períodos horários nos tarifários Normal e Opcional

Tarifário	SOMA (kWh)	Super Vazio (kWh - %)	Vazio (kWh - %)	Cheia (kWh - %)	Ponta (kWh - %)
Normal	60 024,75	12596,75	11621,50	25424,25	10382,25
		20,99%	19,36%	42,36%	17,30%
Opcional	60 024,75	12719,50	11547,00	26853,50	8904,75
		21,20%	19,25%	44,77%	14,85%

Analisando cuidadosamente o Tabela 5.23 constata-se que o “Tarifário Normal” apresenta o valor de consumo mais elevado do que o “Tarifário Opcional”, no horário de Super Vazio e de Cheia, e valores menores nos horários de Vazio e Ponta. Tal é ainda evidenciado na representação gráfica da Figura 5.16.

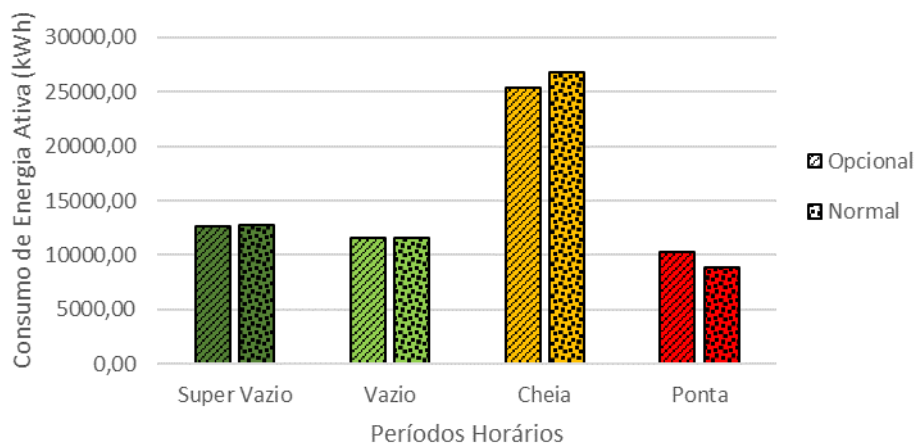


Figura 5.16: Distribuição do consumo pelo período horário do Tarifário Opcional e Normal

Introduzindo agora os preços da energia e das tarifas de acesso às redes, os quais são diferentes para cada um daqueles períodos horários, chegamos aos resultados da Tabela 5.24, os quais permitem concluir que o “Tarifário Normal” é a melhor opção.

Tabela 5.24: Preço da energia ativa e das tarifas de acesso à rede e respectivos custo em cada tarifário.

Períodos Horários	Preço da Energia Ativa (€/kWh)	Tarifa de Acesso à Rede (€/kWh)	Custos com Tarifário Opcional (€)	Custos com Tarifário Normal (€)
Ponta	0,0463	0,05653	1067,61	915,68
Cheias	0,0401	0,05158	2330,90	2461,93
Vazio	0,0221	0,04375	765,28	760,37
Super Vazio	0,0212	0,03761	740,81	748,03
Total			4904,59	4886,01
(com IVA)			6 032,65	6 009,79

5.2.2 Análise do diagrama de cargas

A análise do diagrama de cargas da TRATERME poderá ser uma alternativa para a redução da fatura de eletricidade da empresa. No entanto, para tal pode exigir alterações no perfil de funcionamento atual da empresa. Por exemplo, a alteração pode passar por agrupar tratamentos que até então se fazem individualmente ou mesmo criar um momento de espera na realização dos tratamentos para que se possa aproveitar o calor dos fornos.

Como ao longo do dia existem períodos em que a energia tem um preço mais baixo, o trabalho realizado nesses períodos representa obvio benefício para a empresa. Para esta análise vamos recorrer aos consumos do mês de fevereiro de 2017, onde se verificou um diagrama de cargas idêntico ao longo das semanas.

O diagrama de cargas da primeira semana, do referido mês, é representado na Figura 5.17.

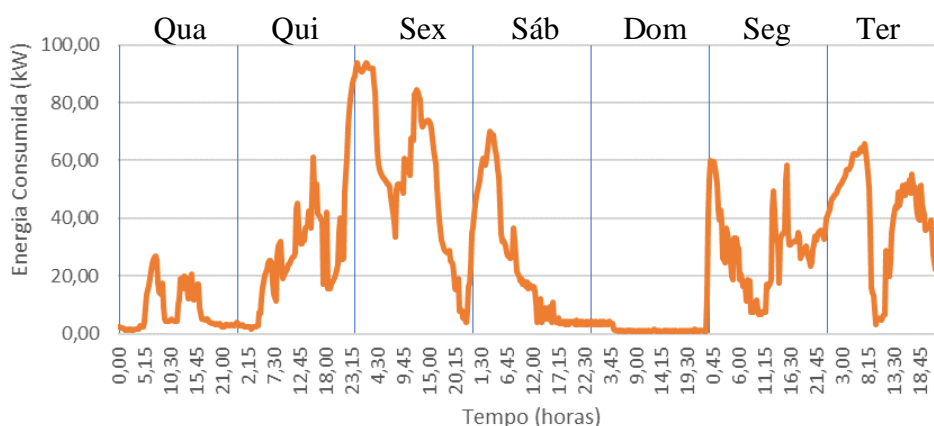


Figura 5.17: Diagrama de cargas da TRATERME dos dias 1 a 7 de fevereiro de 2017.

Ora a maior concentração de trabalho acontece a partir de quinta-feira, quando os seus maiores clientes fazem as entregas de material e daí o diagrama de cargas refletir essa realidade.

O diagrama de cargas é um gráfico que mostra a evolução do consumo ao longo das horas do dia, e dos dias do ano, para um dado intervalo de tempo [16]. São apresentados na Figura 5.18 os diagramas de cargas de cada dia, da primeira semana, do mês de fevereiro de 2017, cujas médias de consumo são agrupadas em intervalos de 15 min.

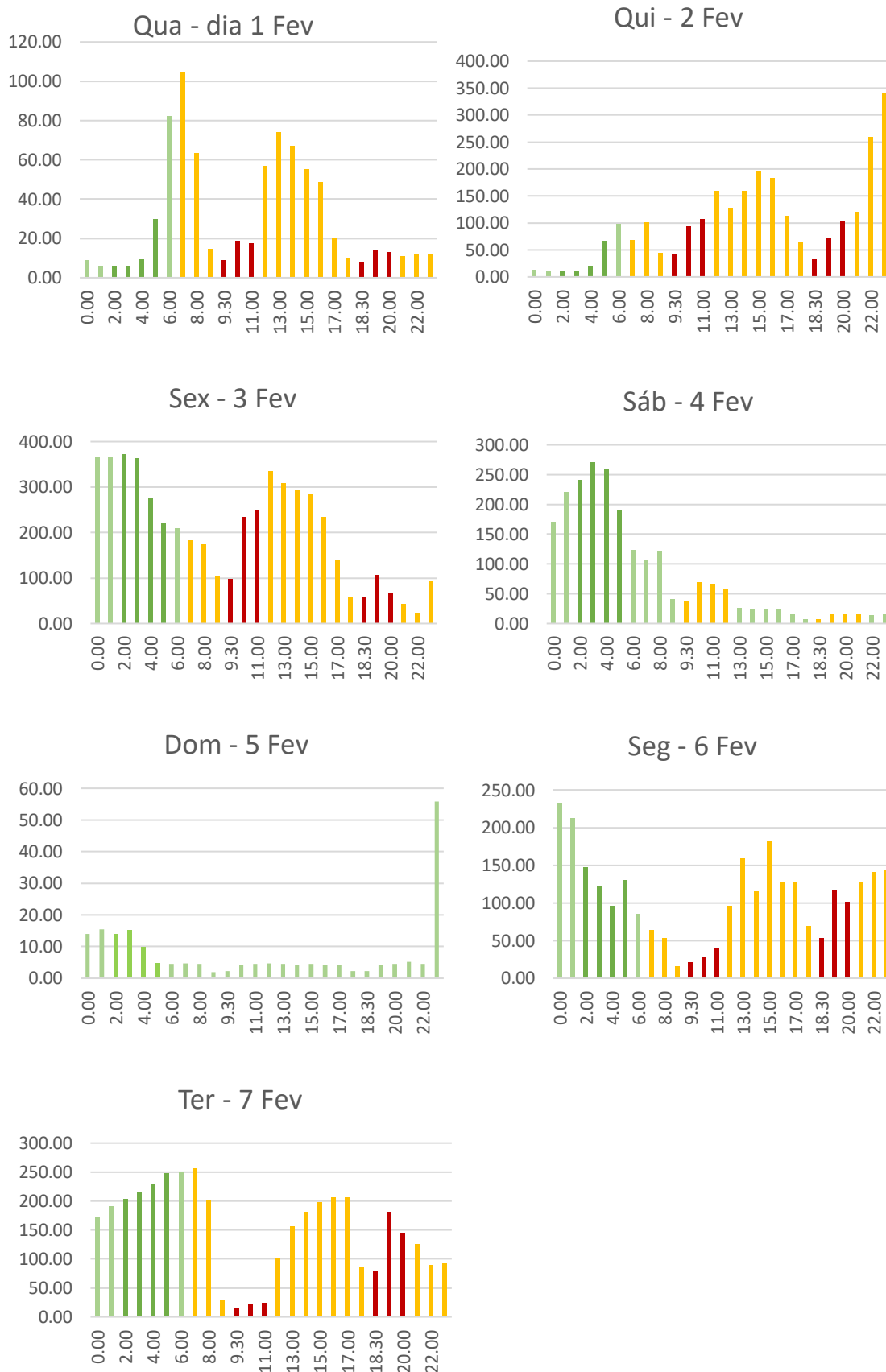


Figura 5.18: Diagrama de Cargas Diário de 1 a 7 de fevereiro de 2017

Da análise cuidada da figura, constata-se que, em geral, a carga já é relativamente elevada nas horas de vazio (período horário mais económico). No entanto, no dia 1 e 2 a distribuição da carga poderia ter sido mais elevada nessas horas, o que teria sido conseguido caso se tivessem iniciado os tratamentos mais próximo da 00h. Tal como se observa para os dias seguintes.

Os diagramas de carga das restantes semanas do mês foram também analisados, revelando-se semelhantes ou mais favoráveis. Assim, pode concluir-se que a distribuição temporal dos tratamentos feito pela empresa atualmente é favorável.

5.3 Aplicação Computacional para Registo de Tratamentos

A empresa TRATERME faz o registo de todos os tratamentos que realiza. O registo dos tratamentos tem início com a listagem dos dados relativos a cada forno na “Folha de Tratamentos” (Anexo B) que acompanha cada um dos fornos, seguindo-se a sua introdução, manualmente, numa folha de cálculo em Excel.

Relativamente aos tratamentos, as folhas registam (com interesse para o estudo) os seguintes dados: tipo de tratamento realizado, data de início e de fim, hora de início e de fim, carga (em kg), temperatura inicial (em °C), temperatura final (em °C), energia no início do tratamento (em kW) e energia no final (em kW).

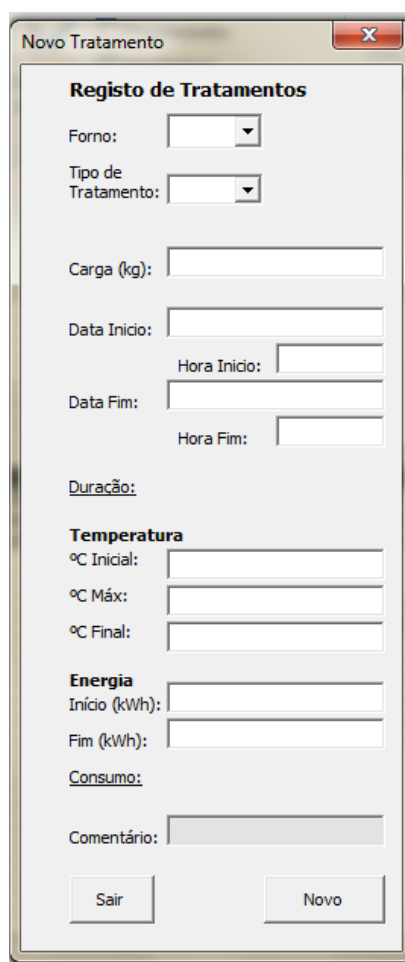
Atendendo a que o procedimento referido é causador de erros, na tentativa de colmatar essa falha encontrada, foi criada uma ferramenta no programa Excel recorrendo às capacidades do VBA – “Visual Basic para Aplicações”. A aplicação computacional desenvolvida passa por um formulário de introdução de dados de forma fácil e intuitiva que permite validar valores e efetuar o cálculo da duração e consumo pela diferença das datas e energia no início e fim do tratamento, respetivamente.

O formulário criado, cujo ecrã principal de entrada de dados é mostrado na Figura 5.19, permite introduzir os dados: forno, tipo de tratamento, carga, data de início e de fim, hora de início e de fim, energia no início e no final do tratamento e um possível comentário.

Apresentam-se cálculos à medida que o formulário é preenchido o tempo de duração do tratamento, em horas, bem como o respetivo consumo em kWh. Do formulário fazem ainda parte os botões “Sair” e “Novo” que, respetivamente, fecha o formulário e procede à criação de um novo registo. Relativamente aos campos de introdução das datas, estes

dados devem ser introduzidos pela ordem ano-mês-dia, no formato aaaa-mm-dd, e o registo das horas deve ser feito no formato hh:mm.

Esta ferramenta torna a introdução dos dados mais intuitiva, mais rápida, mais simples e evita erros. O armazenamento da informação em base de dados associada ao formulário, referente aos tratamentos realizados passará a ser mais fidedigno, uma vez que será feita a validação da informação inserida. Esta validação passa por não permitir a introdução na base de dados de informações contraditórias, tais como a data e hora de fim anterior à de início, ou ainda limites válidos de duração como seja o consumo final inferior ao consumo inicial.



Novo Tratamento

Registo de Tratamentos

Forno:

Tipo de Tratamento:

Carga (kg):

Data Inicio:

Hora Inicio:

Data Fim:

Hora Fim:

Duração:

Temperatura

°C Inicial:

°C Máx:

°C Final:

Energia

Início (kWh):

Fim (kWh):

Consumo:

Comentário:

Sair Novo

Figura 5.19: Formulário de Registo de Tratamentos.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

Atendendo a que o principal objetivo da dissertação era contribuir para a melhoria da eficiência energética na empresa TRATERME, a análise dos dados centrou-se na exploração de relações entre as variáveis envolvidas nos tratamentos, nomeadamente forno, tipo de tratamento, carga, duração, temperatura máxima e consumo, na procura de uma estratégia laboral mais eficiente.

Na verdade, uma vez caracterizado o tipo de tratamento, a carga, duração e temperatura máxima, há para cada situação um ranking que permite ordenar os fornos por eficiência. As conclusões retiradas, especialmente no capítulo 5, poderão ser muito úteis para o planeamento e calendarização dos tratamentos térmicos da empresa, no futuro.

Relativamente à análise da faturação e diagrama de cargas da TRATERME, foi analisada a possibilidade redistribuir cargas em diferentes períodos horários, através da comparação feita entre o tarifário normal e opcional, da GALP Energia. Sendo analisada a situação do mês de fevereiro de 2017 verificou-se que, face à laboração da empresa atual, o tarifário normal é economicamente mais vantajoso.

Por fim, outro aspeto que foi possível tratar na dissertação, e que é de grande utilidade para a empresa, foi o desenvolvimento de uma aplicação computacional que permite evitar os erros associados à introdução de dados no registo dos tratamentos.

Tendo em vista a possibilidade de aplicação em trabalhos futuros, apresentam-se algumas sugestões. Considerando os resultados obtidos, concluiu-se que existem acentuadas diferenças, entre outras, de consumo entre fornos para tratamentos do mesmo

tipo, cargas idênticas e durações idênticas. Assim, seria interessante desenvolver modelos de maximização da eficiência energética que permitissem simulações a partir do conhecimento da carga e do tipo de tratamento desejado que indicassem qual é o forno mais adequado para o tratamento desejado.

Seria interessante fomentar o registo de boas práticas na empresa, para que se construa conhecimento no sentido da progressiva melhoria do seu desempenho e, consequentemente, da melhoria da eficiência energética.

O formulário construído ajuda a resolver a situação atual da recolha de dados dos fornos, no entanto, o desejável é que todos os dados fossem automaticamente introduzidos em bases de dados, simultaneamente com a ação que cada forno desenvolve.

Este estudo evidencia a dificuldade que existe em trabalhar com muitas variáveis em simultâneo e retirar delas conclusões que possam servir de propostas para alterar rotinas nas empresas.

Anexo A


Período horário de Inverno e Verão para ciclo semanal normal e semanal opcional para MT em Portugal Continental

Ciclo semanal para todos os fornecimentos em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	09.30/12.00 h 18.30/21.00 h	Ponta:	09.15/12.15 h
Cheias:	07.00/09.30 h 12.00/18.30 h 21.00/24.00 h	Cheias:	07.00/09.15 h 12.15/24.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/07.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	09.30/13.00 h 18.30/22.00 h	Cheias:	09.00/14.00 h 20.00/22.00 h
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.30 h 13.00/18.30 h 22.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/09.00 h 14.00/20.00 h 22.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/02.00 h 06.00/24.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Ciclo semanal opcional para MAT, AT e MT em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
De segunda-feira a sexta-feira		De segunda-feira a sexta-feira	
Ponta:	17.00/22.00 h	Ponta:	14.00/17.00 h
Cheias:	00.00/00.30 h 07.30/17.00 h 22.00/24.00 h	Cheias:	00.00/00.30 h 07.30/14.00 h 17.00/24.00 h
Vazio normal:	00.30/02.00 h 06.00/07.30 h	Vazio normal:	00.30/02.00 h 06.00/07.30 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h
Sábado		Sábado	
Cheias:	10.30/12.30 h 17.30/22.30 h	Cheias:	10.00/13.30 h 19.30/23.00 h
Vazio normal:	00.00/03.00 h 07.00/10.30 h 12.30/17.30 h 22.30/24.00 h	Vazio normal:	00.00/03.30 h 07.30/10.00 h 13.30/19.30 h 23.00/24.00 h
Super vazio:	03.00/07.00 h	Super vazio:	03.30/07.30 h
Domingo		Domingo	
Vazio normal:	00.00/04.00 h 08.00/24.00 h	Vazio normal:	00.00/04.00 h 08.00/24.00 h
Super vazio:	04.00/08.00 h	Super vazio:	04.00/08.00 h

Fonte: ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

Folha de Registo de Tratamentos



Traterme
HEAT TREATMENT

Formo: 6

Atenção: OBRIGATORIO VALIDAÇÃO DAS NÓRMAS ESPECÍFICAS DE TRATAMENTO (NET) DA FERESPE

REGISTO DE TRATAMENTOS				ANTES DO ARRANQUE DO FORMO				Validação NET				
Estado	Tratam.	Data	Hora	F. de Acomp./NET	Cliente	Carga (kg)	Temperatura [°C]		Pré-Aquec.	Prog.	Validação NET	
							Forno	Pre-Aquec.			Sim	Não	Operador	Energia
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	
INICIO												
MEIO	X				X	X				X	X	X
FIM	X				X	X				X	X	

Mod. 06/3

* C - Cementação

To - Temperatura

TA - Temperatura

CB - Carbonituração

RV - Revenido

N - Normalização

RC - Recozimento

AT - Alívio Tensões

HAR - Hipertêmpera Ar

E - Endurecimento

HAG - Hipertêmpera Água

H - Homogeneização

PA - Pré-Aquecimento

FORMO (Forno)

Anexo C

Consumo médio por tipo de tratamento em cada forno

Tratamento	Consumo médio por Tipo de Tratamento e Forno (kWh)								CM (kWh)
	1	2	3	4	5	6	7	9	
AT		228,99	89,15	200,90	359,64	65,96	340,66	207,53	253,28
CM	307,95			351,51					309,93
EN				244,99					244,99
FE			173,28	395,26	883,08		754,46		722,29
HTA		484,96	171,89				1 360,33		547,27
HT			240,71			703,30	898,05		464,70
HO				166,36					166,36
NR		712,49	755,75	817,63	774,61	845,01	765,25	660,95	759,94
RC		523,34	137,43	331,07	808,22		888,68	417,66	669,09
RV		253,60	86,99	136,82	302,90	20,34	354,61	263,07	212,27
TA		628,75	111,23	292,57	738,54	460,64	393,58	536,22	473,75
TO	234,79	400,46		204,40	420,65		581,02		276,88
TM	161,86				679,28				506,81
Total Geral	242,65	345,36	206,85	355,81	616,04	64,24	631,20	452,44	422,56

Legenda: AT – Alívio de Tensões, C – Cementação, EN – Endurecimento, FE – Ferritização, HTA – Hipertêmpera a água, HT – Hipertêmpera ao ar, HO – Homogeneização, NR – Normalização, RC – Recozimento, RV – Revenido, TA – Têmpera a água, TO – Têmpera a óleo, T – Têmpera ao ar.

Anexo D

Teste de Homogeneidade das Cargas – Estatística de Levene

Teste de Homogeneidade de Variâncias			
Consumo			
Estatística de Levene	gl1	gl2	Sig.
28,453	3	1056	,000

Anexo E

D.1 Comparações Múltiplas da Variável Carga

Comparações múltiplas da variável Carga						
Variável dependente: Consumo						
Tukey HSD						
(I)	(J)	Diferença			Intervalo de Confiança 95%	
OrdemCarga	OrdemCarga	média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Limite inferior	Limite superior
1,00	2,00	-267,40800*	17,21408	,000	-311,7020	-223,1140
	3,00	-517,76401*	21,15654	,000	-572,2025	-463,3256
	4,00	-587,72490*	23,25904	,000	-647,5734	-527,8764
2,00	1,00	267,40800*	17,21408	,000	223,1140	311,7020
	3,00	-250,35601*	23,63141	,000	-311,1626	-189,5494
	4,00	-320,31690*	25,53092	,000	-386,0112	-254,6226
3,00	1,00	517,76401*	21,15654	,000	463,3256	572,2025
	2,00	250,35601*	23,63141	,000	189,5494	311,1626
	4,00	-69,96090	28,33906	,065	-142,8809	2,9591
4,00	1,00	587,72490*	23,25904	,000	527,8764	647,5734
	2,00	320,31690*	25,53092	,000	254,6226	386,0112
	3,00	69,96090	28,33906	,065	-2,9591	142,8809
*. A diferença média é significativa no nível 0.05.						

D.2 Comparações Múltiplas da Variável Duração

Comparações múltiplas da variável Duração						
Variável dependente: Consumo						
Tukey HSD						
(I) OrdemDurac	(J) OrdemDurac	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
1	2	-162,24652	60,39574	0,288	-365,2735	40,7804
	3	-				
	3	203,98100*	55,23367	0,017	-389,6551	-18,3069
	4	-				
	4	244,69838*	47,33287	0	-403,813	-85,5837
	5	-				
	5	399,72314*	47,50188	0	-559,4059	240,0403
	6	-				
	6	493,89823*	49,12814	0	-659,0479	328,7486
	7	-				
	7	450,82395*	51,39479	0	-623,5932	278,0547
	8	-				
	8	505,29737*	57,54718	0	-698,7486	311,8462
	9	-				
	9	542,40455*	65,82905	0	-763,6961	-321,113
2	10	-				
	10	487,48421*	78,24057	0	-750,4985	224,4699
	11	-				
	11	433,46000*	81,34773	0	-706,9193	160,0007
	12	-				
	12	803,77105*	78,24057	0	-1066,7853	540,7568
	13	-				
	13	656,63353*	81,34773	0	-930,0929	383,1742
	14	-				
	14	855,80000*	148,07878	0	-1353,5831	358,0169
	3	-41,73448	53,71179	1	-222,2926	138,8236
	4	-82,45185	45,54776	0,871	-235,5657	70,662
	5	-				
	5	237,47662*	45,72337	0	-391,1808	-83,7725
	6	-				
	6	331,65171*	47,41068	0	-491,0279	172,2755
	7	-				
	7	288,57742*	49,75563	0	-455,8364	121,3184
	8	-				
	8	343,05085*	56,08811	0	-531,5972	154,5045

	9	- 380,15802*	64,55743	0	-597,1749	- 163,1411	
	10	- 325,23769*	77,17373	0,002	-584,6657	-65,8097	
	11	- 271,21348*	80,32217	0,048	-541,2253	-1,2017	
	12	- 641,52453*	77,17373	0	-900,9525	- 382,0965	
	13	- 494,38701*	80,32217	0	-764,3988	- 224,3752	
	14	- 693,55348*	147,51787	0	-1189,451	- 197,6559	
3	4	-40,71738	38,44101	0,999	-169,941	88,5063	
	5	- 195,74214*	38,64892	0	-325,6647	-65,8195	
	6	- 289,91723*	40,63108	0	-426,5031	- 153,3314	
	7	- 246,84295*	43,34438	0	-392,5498	-101,136	
	8	- 301,31637*	50,48751	0	-471,0357	-131,597	
	9	- 338,42355*	59,75595	0	-539,2997	- 137,5473	
	10	- 283,50321*	73,20449	0,009	-529,5882	-37,4183	
	11	-229,479	76,51643	0,14	-486,6974	27,7394	
	12	- 599,79005*	73,20449	0	-845,875	- 353,7051	
	13	- 452,65253*	76,51643	0	-709,8709	- 195,4341	
	14	- 651,81900*	145,4807	0,001	-1140,8684	- 162,7696	
	4	5	- 155,02477*	26,14157	0	-242,9025	-67,147
		6	- 249,19985*	28,99185	0	-346,6591	- 151,7406
		7	- 206,12557*	32,68605	0	-316,0033	-96,2478
8		- 260,59899*	41,6969	0	-400,7677	- 120,4303	
9		- 297,70617*	52,53966	0	-474,324	- 121,0883	
10		- 242,78584*	67,44286	0,023	-469,5024	-16,0692	
11		-188,76162	71,02398	0,305	-427,5166	49,9933	

	12	- 559,07268*	67,44286	0	-785,7893	- 332,3561
	13	- 411,93515*	71,02398	0	-650,6901	- 173,1802
	14	- 611,10163*	142,66842	0,002	-1090,6972	- 131,5061
5	6	-94,17508	29,26697	0,077	-192,5592	4,2091
	7	-51,1008	32,93032	0,958	-161,7997	59,5981
	8	-105,57422	41,88865	0,395	-246,3875	35,2391
	9	-142,6814	52,69198	0,276	-319,8113	34,4485
	10	-87,76107	67,56159	0,991	-314,8768	139,3546
	11	-33,73686	71,13673	1	-272,8708	205,3971
	12	- 404,04791*	67,56159	0	-631,1636	- 176,9322
	13	- 256,91039*	71,13673	0,022	-496,0443	- 17,7764
	14	-456,07686	142,72458	0,082	-935,8612	23,7075
	14	-456,07686	142,72458	0,082	-935,8612	23,7075
6	7	43,07428	35,23566	0,995	-75,3743	161,5228
	8	-11,39914	43,72419	1	-158,3828	135,5845
	9	-48,50632	54,16263	1	-230,5799	133,5673
	10	6,41402	68,71473	1	-224,5781	237,4061
	11	60,43823	72,23282	1	-182,3803	303,2568
	12	- 309,87282*	68,71473	0,001	-540,8649	- 78,8807
	13	-162,7353	72,23282	0,59	-405,5539	80,0833
	14	-361,90177	143,27404	0,391	-843,5332	119,7297
7	8	-54,47342	46,25641	0,996	-209,9694	101,0226
	9	-91,5806	56,22669	0,938	-280,5928	97,4316
	10	-36,66027	70,35314	1	-273,1601	199,8395
	11	17,36394	73,79316	1	-230,6999	265,4278
	12	- 352,94711*	70,35314	0	-589,4469	- 116,4473
	13	-205,80958	73,79316	0,232	-453,8734	42,2542
	14	-404,97606	144,067	0,22	-889,2731	79,321
8	9	-37,10718	61,90068	1	-245,1931	170,9788
	10	17,81316	74,96544	1	-234,1914	269,8177
	11	71,83737	78,20284	1	-191,0501	334,7248
	12	- 298,47368*	74,96544	0,006	-550,4783	- 46,4691
	13	-151,33616	78,20284	0,807	-414,2236	111,5513
	14	-350,50263	146,37471	0,485	-842,5573	141,552

9	10	54,92033	81,49603	1	-219,0375	328,8782
	11	108,94455	84,48354	0,991	-175,0562	392,9453
	12	-261,36651	81,49603	0,079	-535,3244	12,5914
	13	-114,22898	84,48354	0,987	-398,2297	169,7717
	14	-313,39545	149,82436	0,707	-817,0465	190,2556
10	11	54,02421	94,47536	1	-263,5651	371,6135
	12	-	91,81354	0,038	-624,9282	-7,6455
	13	-169,14932	94,47536	0,88	-486,7386	148,44
	14	-368,31579	155,67744	0,506	-891,6426	155,011
11	12	-	94,47536	0,007	-687,9004	-52,7218
	13	-223,17353	97,0642	0,556	-549,4655	103,1185
	14	-422,34	157,26198	0,289	-950,9934	106,3134
12	13	147,13752	94,47536	0,956	-170,4518	464,7268
		-52,02895	155,67744	1	-575,3558	471,2979
13	14	-199,16647	157,26198	0,993	-727,8199	329,487

D.3 Comparações Múltiplas da Variável Temperatura Máxima

Comparações múltiplas da variável Temperatura Máxima						
Variável dependente: Consumo						
Tukey HSD						
(I) Ordem_tMax	(J) Ordem_tMax	Diferença média (I-J)	Erro Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
1	2	-120,96546*	29,0971	0	-189,2686	-52,6623
	3	-279,41492*	27,98138	0	-345,099	-213,7308
2	3	-158,44946*	22,42691	0	-211,0949	-105,804

*. A diferença média é significativa no nível 0.05.

Referências

- [1] M. Menkes, “Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade.” Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2004. [Online]. Available: <http://www.iar.unicamp.br>.
- [2] U. E. UE, “Diretivas - Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de outubro de 2012 relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE.” 2012. [Online]. Available: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&rid=1>.
- [3] I. Santos, “Eficiência Energética na Indústria: Renault CACIA.” Relatório de estágio no âmbito do mestrado em Sistemas Energéticos Sustentáveis. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.
- [4] L. e. A. IAPMEI, Estratégia de eficiência energética em PME., Lisboa: IAPMEI, 2012.
- [5] R. S. & S. M. E. A. Abdelaziz, A review on energy strategies in industrial sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews., vol.15, 150-168., 2011.
- [6] J. Fernandes, “Auditoria Energética a um edifício de indústria.” Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.
- [7] C. Russell, Managing energy from the top down: connecting industrial energy efficiency to business performance., London: The Fairmont Press, Inc., 2010.
- [8] P. S. d. Freitas, Tratamento térmico dos metais: da teoria à prática., São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014.
- [9] R. Ferreira, “Proposta de Ações de eficiência energética numa instalação de tratamentos térmicos.” Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e computadores. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

- [10] M. C. F. H. A. M. C. P. N. J. P. C. J. C. & F. O. V. Magueijo, *Medidas de Eficiência Energética Aplicáveis à Indústria Portuguesa: Um Enquadramento Tecnológico Sucinto.*, Algés: ADENE, 2010.
- [11] G. PROENERGY, “Programa Eficiência Energética para PME,” Ação de Formação. 2015.
- [12] S. Rodrigues, “Estudo e Sugestões de Melhorias de Eficiência Energética numa Empresa do Sector Industrial De Carnes,” Dissertação de Mestrado em Energias Renováveis- Conversão elétrica e utilização sustentável. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.
- [13] ERSE, “Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos.,” Junho, 2017. [Online]. Available:
<http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/default.aspx>.
- [14] TRATERME, “HEAT TREATMENT,” [Online]. Available: <http://www.traterme.com/>.
- [15] J. Maroco, *Análise estatística com utilização do SPSS*, Lisboa: Edições Sílabo (3.^a ed.), 2010.
- [16] F. M. Barbosa, “Gestão do Diagrama de Cargas,” Apontamentos para a unidade curricular de Sistemas Eléctricos de Energia. Faculdade de Engenharia da universidade do Porto, Porto, 2004.